

⑤1

Int. Cl. 2:

H 03 H 7/46

H 04 R 3/14

①9 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 28 02 938 A 1

①1

Offenlegungsschrift 28 02 938

②1

Aktenzeichen:

P 28 02 938.1-35

②2

Anmeldetag:

24. 1. 78

④3

Offenlegungstag:

27. 7. 78

③1

Unionspriorität:

③2 ③3 ③1

25. 1. 77 Japan 7062-77

24. 5. 77 Japan 60089-77

24. 5. 77 Japan 60091-77

⑤4

Bezeichnung:

Frequenzband-Teilungsfilter

⑦1

Anmelder:

Victor Company of Japan, Ltd., Yokohama, Kanagawa (Japan)

⑦4

Vertreter:

Reichel, W., Dr.-Ing.; Reichel, W., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte,
6000 Frankfurt

⑦2

Erfinder:

Iwahara, Makoto, Sagamidhara, Kanagawa (Japan)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DE 28 02 938 A 1

Patentanwälte
Dr.-Ing. Wilhelm Reichel
Dipl.-Ing. Wolfgang Reichel
6 Frankfurt a. M. 1
Parkstraße 13

9010

2802938

VICTOR COMPANY OF JAPAN, LTD., Yokohama-City, Japan

Patentansprüche

1. Frequenzband-TeilungsfILTER mit einem Eingangsanschluß zum Anlegen eines Eingangssignals, gekennzeichnet durch ein Tiefpaßfilter (12), das mit dem Eingangsanschluß (10) verbunden ist und ein bestimmtes Filterfrequenzband mit einem steilen Verlauf an der Grenzfrequenz besitzt, einen Verzögerungskreis (11), der bezüglich des Eingangsanschlusses parallel zum Tiefpaßfilter (12) liegt und eine Frequenz-Phasenkenmlinie besitzt, die im wesentlichen gleich der Frequenz-Phasenkenmlinie des Tiefpaßfilters (12) innerhalb dessen Durchlaßband ist, eine Subtraktionsschaltung (15), die mit den Ausgängen des Tiefpaßfilters (12) und des Verzögerungskreises (11) verbunden ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters (12) und des Verzögerungskreises (11) durchführt, einen ersten Ausgangsanschluß (13) zur Abgabe des Niederfrequenzband-Ausgangssignals des Tiefpaßfilters (12), einen zweiten Ausgangsanschluß (16) zur Abgabe des Hochfrequenzband-Ausgangssignals der Subtraktionsschaltung (15), wobei die Kennlinie aus Übertragungskennlinie vom Eingangsanschluß zum ersten Ausgangsanschluß (13) und aus Übertragungskennlinie vom Eingangsanschluß (10) zum zweiten Ausgangsanschluß (16) gleich der Frequenz-Amplitudenkenmlinie und der Frequenz-Phasenkenmlinie des Verzögerungskreises (11) ist.

809830/0959

2. Frequenzband-TeilungsfILTER mit einem Eingangsanschluß zum Anlegen eines Eingangssignals, und mit einer Vielzahl von Schaltkreisgruppen, die in Kaskadenverbindung in mehreren Stufen mit dem Eingangsanschluß verbunden sind, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß jede der Schaltungsgruppen enthält: ein Tiefpaßfilter (22-1 bis 22-3) mit einem bestimmten Filterfrequenzband mit einem steilen Grenzfrequenzflankenverlauf, einen Verzögerungskreis (21-1 bis 21-3c), der parallel zum Tiefpaßfilter liegt und eine Frequenz-Phasenkennlinie besitzt, die im wesentlichen der Frequenz-Phasenkennlinie des Tiefpaßfilters in dessen Durchlaßband entspricht, eine Subtraktionsschaltung (24-1 bis 24-3), die mit den Ausgängen des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises verbunden ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises durchführt, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-1) und des Verzögerungskreises (21-1) der ersten Schaltungsgruppe der mehreren in Serien- oder Kaskadenverbindung geschalteten Schaltungsgruppen am Eingangsanschluß (20) liegen, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-2, 22-3) und des Verzögerungskreises (21-2b, 21-3c) der Schaltungsgruppen der zweiten und nachfolgender Stufen mit der Ausgangsseite des Subtraktionskreises (24-1, 24-2) der Schaltungsgruppe der vorhergegangenen Stufe verbunden sind, und daß ein Verzögerungskreis (21-2a, 21-3b) mit denselben Kennlinien wie die Kennlinien des Verzögerungskreises (21-2b, 21-3c) der Schaltungsgruppe der zweiten und nachfolgender Stufen mit der Ausgangsseite des Tiefpaßfilters (22-1, 22-2) der Schaltungsgruppe der vorausgegangenen Stufe und der davor liegenden Stufen verbunden ist.

BAD ORIGINAL

809830/0959

3. Frequenzband-TeilungsfILTER mit einem Eingangsanschluß zum Anlegen eines Eingangssignals und mehreren Schaltungsgruppen, die in Kaskadenverbindung in mehreren Stufen mit dem Eingangsanschluß verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß jede Schaltungsgruppe enthält: ein Tiefpaßfilter (22-3 bis 22-1) mit einem bestimmten Filterfrequenzband mit steiler Grenzfrequenzflanke; einen Verzögerungskreis (21-3 bis 21-1a), der parallel zum Tiefpaßfilter liegt und eine Frequenz-Phasenkenmlinie besitzt, die im wesentlichen gleich der Frequenz-Phasenkenmlinie des Tiefpaßfilters in dessen Durchlaßband ist, eine Subtraktions-schaltung (24-3 bis 24-1), die mit den Ausgangsseiten des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises verbunden ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises durchführt, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-3) und des Verzögerungskreises (21-3) der ersten Schaltungsgruppe der mehreren in Kaskadenschaltung liegenden Schaltungsgruppen mit dem Eingangsanschluß (20) verbunden sind, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-2, 22-1) und des Verzögerungskreises (21-2a, 21-1a) der Schaltungsgruppen der zweiten und nachfolgender Stufen mit der Ausgangsseite des Tiefpaßfilters (22-3, 22-2) der Schaltungsgruppe der vorausgegangenen Stufe verbunden sind, daß ein Verzögerungskreis (21-2b, 21-1b) mit denselben Kennlinien wie die Kennlinien des Verzögerungskreises (21-2a, 21-1a) der Schaltungsgruppe der zweiten und nachfolgender Stufen mit der Ausgangsseite der Subtraktionsschaltung (24-3, 24-2) der vorausgegangenen Stufe und der davor liegenden Stufen verbunden ist.

4. Frequenzband-Teilungsschaltung mit einem Eingangsanschluß zum Anlegen eines Eingangssignals, und mit drei Schaltungsgruppen, die mit dem Eingangsanschluß verbunden sind,

dadurch gekennzeichnet,
daß jede Schaltungsgruppe enthält: ein Tiefpaßfilter (22-2, 22-3, 22-1) mit einem bestimmten Filterfrequenzband mit einem steilen Verlauf an der Grenzfrequenz, einen Verzögerungskreis (21-2, 21-3c, 21-1), der parallel zum Tiefpaßfilter liegt und eine Frequenz-Phasenkennlinie besitzt, die im wesentlichen gleich der Frequenz-Phasenkennlinie des Tiefpaßfilters in dessen Durchlaßband ist, eine Subtraktionsschaltung (24-2, 24-3, 24-1), die mit den Ausgangsseiten des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises verbunden ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises ausführt, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-2) und des Verzögerungskreises (21-2) der ersten Schaltungsgruppe mit dem Eingangsanschluß (20) verbunden sind, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-3) und des Verzögerungskreises (21-3c) der zweiten Schaltungsgruppe mit der Ausgangsseite des Subtraktionskreises (24-2) der ersten Schaltungsgruppe verbunden sind, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (22-1) und des Verzögerungskreises (21-1) der dritten Schaltungsgruppe mit der Ausgangsseite des Tiefpaßfilters (22-2) der ersten Schaltungsgruppe verbunden sind, daß ein erster zusätzlicher Verzögerungskreis (21-3b) mit derselben Kennlinie wie die Kennlinie des Verzögerungskreises der dritten Schaltungsgruppe zwischen der ersten und der zweiten Schaltungsgruppe angeordnet ist, und daß ein zweiter zusätzlicher Verzögerungskreis (21-3a) mit derselben Kennlinie wie die Kennlinie des Verzögerungskreises der zweiten Schaltungsgruppe zwischen der ersten und der dritten Schaltungsgruppe angeschlossen ist.

809830/0959

5. Frequenzband-TeilungsfILTER mit mehreren Schaltungsgruppen,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß jede Schaltungsgruppe enthält: ein Tiefpaßfilter (42-1, 42-2) mit einem bestimmten Filterfrequenzband mit einem steilen Verlauf an der Grenzfrequenz, einen Verzögerungskreis (41-1, 41-2), der parallel zum Tiefpaßfilter liegt und eine Frequenz-Phasenkenmlinie besitzt, die im wesentlichen gleich der Frequenz-Phasenkenmlinie des Tiefpaßfilters in dessen Durchlaßband ist, eine Subtraktionsschaltung (43-1, 43-2), die mit den Ausgangsseiten des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises verbunden ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises durchführt, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (42-1) und des Verzögerungskreises (41-1) der ersten Schaltungsgruppe mit einem Eingangsanschluß (40) verbunden sind, dem ein Eingangssignal zugeführt wird, daß die Eingangsseiten des Tiefpaßfilters (42-2) und des Verzögerungskreises (41-2) der Schaltungen der Gruppen der zweiten Stufe und nachfolgender Stufen mit der Ausgangsseite des Verzögerungskreises (41-1) der Schaltungen der Gruppe der vorhergehenden Stufe verbunden sind, und daß die Ausgangsseite des Tiefpaßfilters (42-1, 42-2) der Gruppen der zweiten Stufe und nachfolgender Stufen mit der Eingangsseite der Subtraktionsschaltung (43-1, 43-2) der Schaltungen der Gruppe der vorhergehenden Stufe verbunden ist.

809830/0959

2802938

6. Frequenzband-Teilungsfilter mit einem Eingangsanschluß zum Anlegen eines Eingangssignals, gekennzeichnet durch einen Verzögerungskreis (11), der mit dem Eingangsanschluß (10) verbunden ist, ein Tiefpaßfilter (12), welches parallel zum Verzögerungskreis (11) bezüglich des Eingangsanschlusses liegt und ein bestimmtes Filterfrequenzband mit einem steilen Verlauf an der Grenzfrequenz aufweist, eine Subtraktionsschaltung (15), die an die Ausgangsseiten des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises angeschlossen ist und eine Subtraktion der Ausgangssignale des Tiefpaßfilters und des Verzögerungskreises durchführt, einen Phasenverschiebungskreis (50), der in einem geschunteten Signalpfad mit dem Tiefpaßfilter zwischen dem Eingangsanschluß und der Subtraktionsschaltung liegt, einen ersten Ausgangsanschluß (13) zur Abgabe des Niederfrequenzband-Ausgangssignals des Tiefpaßfilters, einen zweiten Ausgangsanschluß (16) zur Abgabe des Hochfrequenzband-Ausgangssignals der Subtraktionsschaltung, wobei die Frequenz-Phasenkennlinie der Kaskadenschaltung aus Tiefpaßfilter und Phasenverschiebungskreis gleich der Frequenz-Phasenkennlinie des Verzögerungskreises im Durchlaßband des Tiefpaßfilters ist.

7. Frequenzband-Teilungsfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Subtraktionsschaltung eine einen Koeffizienten zur Anwendung bringende Operationsschaltung (60) enthält, um die Ausgangssignale des Verzögerungskreises und des Tiefpaßfilters mit Koeffizienten K_1 und K_2 zu multiplizieren.

809830/0959

Patentanwärter
Dr.-Ing. Wilhelm Reich 21802938
- 7 - Dipl.-Ing. Wolfgang Reichel
6 Frankfurt a. M. I.
Parkstraße 13

VICTOR COMPANY OF JAPAN, LIMITED, Yokohama-City, Japan

Frequenzband-TeilungsfILTER

Die Erfindung betrifft Frequenzband-Teilfilter, sie bezieht sich insbesondere auf ein Filter zur Teilung des Frequenzbandes eines Eingangssignals in bandgeteilte Signale und zum Kombinieren dieser Signale zu einem kombinierten Signal, wobei das Filter das Eingangssignal in eine Vielzahl von Frequenzbandsignalen derart teilt, daß sowohl die Frequenz-Amplitudenkennlinie als auch die Frequenz-Gruppenlaufzeit-(group delay) Kennlinie des resultierenden kombinierten Signals geradlinig ist.

In Systemen wie z. B. Hörfrequenz-Lautsprechersystemen werden z.B. Lautsprecher für niedere, mittlere und hohe Frequenzbänder (im folgenden als niederes, mittleres und hohes Band bezeichnet) benutzt, und ein Hörfrequenzsignal wird in ein niederes, ein mittleres und ein hohes Band geteilt, wobei Signale der derart geteilten Bänder den Lautsprechern für die entsprechenden Bänder zugeführt werden. Für diese Bandteilung wird ein Frequenzband-Teilfilter oder -Teilungsfilter verwendet. In diesem Fall hört der Hörer Klänge, die von der akustischen Kombination im Klangfeld der von den Lautsprechern für die drei Bänder reproduzierten Klänge herühren. Ferner wird ein derartiges System zur Teilung eines Signals in Frequenzbänder, zur Übertragung der derart geteilten Frequenzbänder mittels Übertragungssystemen für die Bänder und zur anschließenden Addierung und Kombination dieser der-

809830/0958

art übertragenen Signale, um auf diese Weise übertragene Signale zu erhalten, auch in Begrenzersystemen oder einem Rauschunterdrückungs- oder -verringersystem verwendet.

In derartigen Fällen ist es wünschenswert, daß die Kennlinien der nach Teilung des Frequenzbandes, Übertragung und anschließender Addierung und Kombination erhaltenen Signale gleich den Kennlinien und Eigenschaften des Signals vor der Frequenzbandteilung sind.

Ein Bandteilungsfilter zur Ausführung der genannten Frequenzbandteilung soll daher eine scharfe oder steile Grenzfrequenzflanke und eine derartige Frequenz-Amplituden-Kennlinie (im folgenden als "Amplitudenkennlinie" bezeichnet) und eine derartige Frequenz-Gruppenlaufzeitkennlinie (im folgenden als "Gruppenlaufzeitkennlinie" (group delay characteristic) bezeichnet) besitzen, das die Amplitudenkennlinie und die Gruppenlaufzeitkennlinie des Signals nach dem Additions- und dem Kombinationsvorgang flach verlaufen.

Bei einem typischen bekannten Frequenzband-Teilungsfilter, auf das beispielshalber in der Zeichnung Bezug genommen wird, sind jedoch, wenn irgendeine der genannten Grenzfrequenz-Flankenverläufe, Amplitudenkennlinie und Gruppenlaufzeitkennlinie den gewünschten Verlauf besitzen, die anderen Kennlinien schlecht, und es ist kein derartiges Filter bekannt, bei dem alle diese Kennlinien vollständig zufriedenstellend sind.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Frequenzband-Teilungsfilter zu schaffen, welches die oben genannten Nachteile vermeidet und einen steilen Grenzfrequenz-Flankenverlauf und eine derartige Amplitudenkennlinie und Gruppenlaufzeitkennlinie besitzt, da Amplitudenkennlinie und Gruppenlaufzeitkennlinie eines durch Teilung und Kombination erhaltenen Signals einen ebenen oder flachen Verlauf besitzen.

809830/0959

Aufgabe der Erfindung ist es ferner, ein Frequenzband-Teilungsfilter mit den gewünschten Kennlinienverläufen anzugeben, welches einen einfachen Schaltkreisaufbau besitzt und nur Tiefpaßfilter, Verzögerungskreise und einen Substrahierkreis umfaßt.

Aufgabe der Erfindung ist es ferner, ein Frequenzband-Teilungsfilter mit den gewünschten Kennlinienverläufen zu schaffen, das einen einfachen Schaltungsaufbau aufweist, und bei dem die Anzahl der verwendeten Verzögerungskreise klein ist.

Aufgabe der Erfindung ist es ferner, ein Frequenzband-Teilungsfilter zu schaffen, welches einen Verzögerungskreis, ein Tiefpaßfilter und eine einen Koeffizienten zur Anwendung bringende Operationsschaltung aufweist, die die Ausgangssignale des Verzögerungskreises und des Tiefpaßfilters mit entsprechenden Koeffizienten multipliziert und dadurch eine Operation auf diese Signale ausübt. Selbst wenn die Amplitudenkennlinie des Tiefpaßfilters und die Amplitudenkennlinie des Verzögerungskreises im Durchlaßband des Tiefpaßfilters nicht gleich sind, werden die Amplitudenkennlinien von Signalen, die durch das Tiefpaßfilter und den Verzögerungskreis hindurchgelaufen sind, in der Operationsschaltung vereinheitlicht und dadurch der Operation unterworfen.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A bis 1D und Fig. 1E bis 1H Darstellungen der Amplitudenkennlinien und Phasenkennlinien eines Hochpaßfilters bzw. eines Tiefpaßfilters des allgemeinen Typs;

Fig. 2 eine Darstellung der Amplitudenkennlinie und der Phasenkennlinie eines Beispiels eines bekannten Frequenzband-Teilungsfilters;

809830/0959

Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters zeigt;

Fig. 4 eine Darstellung der Amplitudenkennlinie und der Phasenkennlinie eines Verzögerungskreises, welches bei dem erfindungsgemäßen Filter verwendet wird;

Fig. 5 eine Darstellung einer Amplitudenkennlinie des Ausgangssignals des in Fig. 3 dargestellten erfindungsgemäßen Filters;

Fig. 6 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters zeigt;

Fig. 7A bis 7F schematische Blockschaltbilder eines äquivalenten Blockaufbaus der Blockschaltung nach Fig. 6;

Fig. 8 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellt;

Fig. 9 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellt;

Fig. 10A, 10B und 10C schematische Blockschaltbilder von äquivalenten Blockanordnungen für das Blockschaltbild gemäß Fig. 9; und

Fig. 11, 12 und 13 schematische Blockschaltbilder, die den allgemeinen Aufbau einer fünften, sechsten bzw. siebten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellen.

Fig. 14 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer achten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellt;

Fig. 15 eine Darstellung der Amplituden- und der Phasenkennlinien des Verzögerungskreises, des Tiefpaßfilters und der Phasenverschiebungsschaltung gemäß dem Blockschaltbild nach Fig. 14;

Fig. 16 eine Darstellung der Amplitudenkennlinien der in den Fig. 3 und 14 dargestellten Frequenzband-Teilungsfilter;

Fig. 17 und 18 schematische Blockschaltbilder, die den allgemeinen Aufbau einer neunten und einer zehnten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellen;

Fig. 19 ein schematisches Blockschaltbild, welches den allgemeinen Aufbau einer elften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellt;

Fig. 20A und 20B Schaltbilder, die spezielle Beispiele der Schaltungsanordnung der den Koeffizienten zur Anwendung bringenden Operationsschaltung im Filter gemäß Fig. 19 darstellen; und

Fig. 21 bis 25 schematische Blockschaltbilder, die den allgemeinen Aufbau einer zwölften, dreizehnten, vierzehnten, fünfzehnten und sechzehnten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters darstellen.

In folgender Tabelle sind Beispiele von Kombinationen der Übertragungskennlinien eines Hochpaßfilters und eines Tiefpaßfilters einer derartigen allgemeinen Kennlinienform dargestellt, bei der ein durch Kombination von durch die Filter hindurchlaufenden Signale erhaltenes Signal eine

809830/0959

ebene oder flache Amplitudenkennlinie besitzt, dargestellt ist ferner die Übertragungskennlinie des kombinierten Signals.

Tabelle

	Tiefpassfilter- Hochpassfilter-		nach Kombinierung	
	Seite	Seite	gleiche Polarität	Hochpassfilter- Seite umgekehrte Polarität
6dB/Okt	$\frac{1}{1 + Ts}$	$\frac{Ts}{1 + Ts}$	1	$\frac{1 - Ts}{1 + Ts}$
Kennlinie	a		e	f
12dB/Okt	$\frac{1}{(1 + Ts)^2}$	$\frac{(Ts)^2}{(1 + Ts)^2}$		$\frac{1 - Ts}{1 + Ts}$
Kennlinie	b			f
18dB/Okt	$\frac{1}{(1+Ts)\{1+Ts+(Ts)^2\}}$	$\frac{(Ts)^3}{(1+Ts)\{1+Ts+(Ts)^2\}}$	$\frac{1-Ts+(Ts)^2}{1+Ts+(Ts)^2}$	$\frac{1 - Ts}{1 + Ts}$
Kennlinie	c		g	f
24dB/Okt	$\frac{1}{\{1+\sqrt{2}Ts+(Ts)^2\}^2}$	$\frac{(Ts)^4}{\{1+\sqrt{2}Ts+(Ts)^2\}^2}$	$\frac{1-\sqrt{2}Ts+(Ts)^2}{1+\sqrt{2}Ts+(Ts)^2}$	
Kennlinie	d		h	

Hierin bedeuten $T_s = 1/2\pi f_c$, wobei f_c die Schnittfrequenz oder Kreuzungsfrequenz der Hochpass- und Tiefpassfilter ist.

Die den in den "Kennlinien"-Feldern der obigen Tabelle dargestellten Bezugsbuchstaben a bis h entsprechen Kennlinien, die in den Figuren 1A bis 1H dargestellt sind. In den Figuren 1A bis 1D kennzeichnen die Kurven 1H bzw. 1L die Amplitudenkennlinien des Hochpass- bzw. des Tiefpassfilters, während die Kurven IIH und IIL die Phasenkenlinien des Hochpass- bzw. des Tiefpassfilters kennzeichnen. In den Figuren 1E bis 1H kennzeichnet die gerade Linie I die Amplitudenkennlinie eines Signals, welches durch Kombination der durch die Filter hindurchgelaufenen Signale erhalten wird, während die Linie II die Phasenkenlinie des kombinierten Signals angibt. In jeder dieser Figuren gibt die Abszisse die Frequenz in Vielfachen der Schnittfrequenz oder Kreuzungsfrequenz f_c an, wobei f_c als Wert 1 (Einheit) genommen wird, und die linksseitige bzw. rechtsseitige Ordinate gibt die Amplitude bzw. die Phase an.

Wenn dann die Signale, die durch Hochpass- und Tiefpassfilter mit einer Kennlinie, z.B. nach Fig. 1A gelaufen sind, mit derselben Polarität kombiniert werden, sind die Amplitudenkennlinie und die Phasenkenlinie des resultierenden kombinierten Signals, das dem Eingangssignal entspricht, so eben, wie in Fig. 1A dargestellt. Es wird daher durch eine Kaskaden- oder Serienschaltung von Hochpass- und Tiefpassfiltern mit Kennlinien gemäß Fig. 1A ein Frequenzband-Teilungsfilter mit ebener Kuppenlaufzeit-Kennlinie erhalten. Wie jedoch aus den Kurven IH und IL in Fig. 1A erkennbar ist, steigen die Grenzfrequenz-Frequenzflanken der beiden Filter allmählich an und sind schlecht, und sind daher nicht praktisch verwendbar.

809830/0959

Werden Filter mit steiler Grenzfrequenz-Flankensteilheit verwendet, wie in den Figuren 1B, 1C und 1D dargestellt ist, so nehmen die Phasenkenmlinien der kombinierten Signale den in den Figuren 1F, 1G und 1H dargestellten Verlauf an, und die Gruppenlaufzeit-Kennlinien sind nicht eben oder flach.

Durch Verwendung bekannter Hochpass- oder Tiefpassfilter läßt sich daher kein Frequenzband-Teilungsfilter mit steiler Grenzfrequenz-Flanke verwirklichen, das darüberhinaus noch eine ebene Amplitudenkennlinie und Phasenkennlinie des kombinierten Signals aufweist.

Unter den bekannten Frequenzband-Teilungsfiltern befindet sich eines, bei dem ein Hochpassfilter oder ein Tiefpassfilter und eine Subtrahierschaltung verwendet wird, um die Differenz zwischen Eingangssignal und Ausgangssignal dieses Filters zu erhalten. Da die Phasenkennlinie des genannten Hochpass- oder Tiefpassfilters jedoch nicht eben ist, wird eine Subtraktion von Signalen verschiedener Phasen in der Subtraktionsschaltung durchgeführt. Als Folge ist insbesondere, wie in Fig. 2 dargestellt ist, eine große Spitze, insbesondere in der Amplitudenkennlinie IH des Hochpass-Filtervorgangs vorhanden, und es sind andere Probleme, wie eine allmählich ansteigende Grenzfrequenz-Flanke ebenso existent. Das in Fig. 2 dargestellte Kennlinienbeispiel entspricht demjenigen Fall, bei dem ein Butterworth-Filter als das genannte Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz-Flanke von 12dB/Okt verwendet wird.

Gemäß der Erfindung wird daher ein Frequenzband-Teilungsfilter angegeben, welches eine steile Grenzfrequenz-Flanke aufweist, und bei dem ein kombiniertes Signal mit ebener Amplituden- und Phasenkenmlinien erhalten werden kann. Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben, wobei auf die Fig. 3 und die weiteren Figuren Bezug genommen wird.

809830/0959

In einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters gemäß Fig. 3 wird ein an einen Eingangsanschluß 10 angelegtes Hörfrequenzsignal einem Verzögerungskreis 11 und einem Tiefpassfilter 12 zugeführt. Als Ergebnis der Filterung durch das Tiefpassfilter 12 wird ein Signal mit einem spezifischen Frequenzband erzeugt, das einerseits als ein Ausgangssignal mit tiefem Frequenzband am Ausgangsanschluß 13 abgegeben wird. Dieses Signal wird andererseits einem Inverter 14 zugeführt, der die Phase des Signals umkehrt, und es wird dann einem Addierer 15 zugeführt.

Das durch den Verzögerungskreis 11 eine bestimmte Zeit verzögerte Signal wird dem Addierer 15 zugeführt und dort dem Tiefbandsignal hinzuaddiert, dessen Phase invertiert ist. Als Ergebnis wird ein Hochbandsignal als Ausgang am Addierer 15 erzeugt und am Ausgangsanschluß 16 herausgeführt.

Die Übertragungsfunktion LP des Tiefpassfilters 12 betrage z.B. $LP = 1/(1+Ts)^2$, dieses Filter stellt ein Tiefpassfilter mit einer relativ guten Grenzfrequenzflanke dar, wie aus der obigen Tabelle und Fig. 1B ersichtlich ist.

Die Amplituden- und die Phasenkennlinie des Verzögerungskreises 11 sollen im wesentlichen gleich den Amplituden- und Phasenkennlinien des Durchlaßbandes des Tiefpassfilters 12 sein, wie durch die Linien I und II in Fig. 4 angegeben ist. Wie aus Fig. 1B ersichtlich, ändert sich die Phasenkennlinie im ebenen Durchlaßband der Amplitudenkennlinie des Tiefpassfilters 12 linear. Die Gruppenlaufzeitkennlinie (die durch Differentiation der Phasenkennlinie nach der Frequenz gewonnen wird) kann in diesem Frequenzband als eben betrachtet werden. Einerseits ist die Gruppenlaufzeitkennlinie des Verzögerungskreises 11 eben, und die Phasenkennlinie ϕ wird ausgedrückt durch $\phi = 2\pi \tau f$, wobei τ die Verzögerungszeit und f die Frequenz darstellt. Durch geeignete Wahl der Verzögerungs-

809830/0959

zeit kann die Kennlinie des Verzögerungskreises 11 im wesentlichen gleich der Phasenkenmlinie des Tiefpassfilters 12 gesetzt werden.

Die Amplituden- und die Gruppenlaufzeitkenmlinie eines Signals, welches durch Kombination der Tiefband- und der Hochbandausgangssignale gewonnen wird, die an den Ausgangsanschlüssen 13 und 16 der Fig. 3 abgegeben werden, wird nun betrachtet. In Fig. 3 ist die Kennlinie des am Ausgangsanschluß 13 abnehmbaren Signals mit LP, und die Kennlinie des vom Inverter 14 abgegebenen Signals mit -LP bezeichnet. Das Signal mit einer Kennlinie D, das durch den Verzögerungskreis 10 hindurchgelaufen ist, und das Signal mit der Kennlinie -LP werden im Addierer 15 addiert, und es wird am Ausgangsanschluß 16 ein Signal mit der resultierenden Kennlinie (D-LP) abgegeben. Wenn das Signal mit der Kennlinie LP am Ausgang 13 und das Signal mit der Kennlinie (D-LP) am Ausgangssignal 16 kombiniert werden, lautet die Kennlinie des kombinierten Signals $LP + (D-LP) = D$. Die Kennlinie des kombinierten Signals wird daher nur durch die Kennlinie D des Verzögerungskreises 11 gegeben, dessen Amplitudenkenmlinie und Gruppenlaufzeitkenmlinie beide eben sind und mit der Kennlinie LP des Tiefpassfilters 12 nicht in Zusammenhang stehen. Unabhängig von der Kennlinie des Tiefpassfilters, welches für das Filter 12 Verwendung findet, wird daher ein kombiniertes Signal erhalten, dessen Amplituden- und Gruppenlaufzeitkenmlinie beide eben sind.

Im Addierer 15 wird ferner die Subtraktion des Signals mit der Kennlinie D und des Signals mit der Kennlinie LP mit im wesentlichen derselben gegenseitigen Phase ausgeführt. Die Subtraktion wird daher mit einer größeren Genauigkeit als im Falle einer Subtraktion zwischen Signalen unterschiedlicher Phase durchgeführt, wie dies im Beispiel, das den Stand der Technik betrifft, der Fall ist. Aus diesem Grund sind die Amplitudenkenmlinien der Ausgangssignale, die an den Ausgangsanschlüssen 13 und 16 erhalten werden, durch die Kurven IIII und IIIH in Fig. 5 gegeben. Wie aus einem Ver-

809830/0959

gleich mit den Kennlinien eines bekannten Frequenzband-Teilungsfilters ersichtlich ist, die als gebrochen dargestellte Kurven IL und IH in Fig. 5 eingezeichnet sind, ist die Grenzfrequenzflanke der Amplitudenkennlinie insbesondere des Hochbandsignals am Anschluß 16 wesentlich steiler, und es erzeugt darüberhinaus keine Spitze.

Der Verzögerungskreis 11 eines praktischen Beispiels eines Frequenzband-Teilungsfilters, das als Ausgang ein Signal mit den voll ausgezogenen Kennlinien IIIL und IIH in Fig. 5 erzeugt, ist so bemessen, daß eine Verstärkung mit dem Wert 1 (Einheit) und eine Verzögerungszeit τ von $0,35/f_c = 0,7\pi T(\text{sec.})$ besitzt.

In einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters, die in Fig. 6 dargestellt ist, wird ein Hörfrequenzsignal einem Eingangsanschluß 20 zugeführt und von dort einem Verzögerungskreis 21-1 und einem Tiefpassfilter 22-1 zugeleitet. Das resultierende Tiefbandsignal, welches durch das Tiefpassfilter 22-1 herausgefiltert wurde, läuft andererseits durch Verzögerungskreise 21-2a und 21-3a und wird als Tiefband-Ausgangssignal am Ausgangsanschluß 23 herausgeführt. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-1 wird andererseits mit invertierter Phase einem Addierer 24-1 zugeführt.

Das Signal, das durch den Verzögerungskreis 21-1 eine bestimmte Zeit verzögert wurde, wird dem Addierer 24-1 zugeführt und dort mit dem phaseninvertierten Signal vom Tiefpassfilter 22-1 addiert. Das resultierende Ausgangssignal des Addierers 24-1 wird einem Verzögerungskreis 21-2b und einem Tiefpassfilter 22-2 zugeführt. Das durch das Tiefpassfilter 22-2 gefilterte Signal ist ein Signal mit mittlerem Tiefband, welches durch einen Verzögerungskreis 21-3b geleitet wird und als ein mittleres Tiefband-Ausgangssignal am Ausgangsanschluß 25 herausgeführt wird.

Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-2 wird phaseninvertiert und einem Addierer 24-2 zugeführt, wo es dem Signal vom Verzögerungskreis 21-2b hinzuaddiert wird. Das Ausgangssignal des Addierers 24-2 wird einem Verzögerungskreis 21-3c und einem Tiefpaßfilter 22-3 zugeführt. Das gefilterte Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-3 ist ein mittleres Hochbandsignal (Signal mit mittelhohem Frequenzband), das andererseits als ein mittleres Hochband-Signal am Ausgangsanschluß 26 abnehmbar ist. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-3 wird andererseits phaseninvertiert und einem Addierer 24-3 zugeführt und dort dem Signal vom Verzögerungskreis 21-3c hinzuaddiert. Das Ausgangssignal des Addierers 24-3 wird als Hochband-Ausgangssignal am Ausgangsanschluß 27 herausgeführt.

Von den die Blöcke der Verzögerungskreise und der Tiefpassfilter in Fig. 6 kennzeichnenden Bezugszeichen stellen die mit der selben mit einem Bindestrich angehängten Zahl versehenen Bezugszeichen eine Gruppe dar, die ein Frequenzband-TeilungsfILTER zur Teilung in zwei Bänder darstellt, in der die kombinierten Amplituden- und Gruppenlaufzeitkennlinien beide eben sind.

Die Kennlinien der Tiefpassfilter 22-1, 22-2 und 22-3 sind mit LP1, LP2 bzw. LP3 bezeichnet, und deren Grenzfrequenz-Flanken sind steil. Die Kennlinien des Verzögerungskreises 21-1 der Verzögerungskreise 21-2a und 21-2b und der Verzögerungskreise 21-3a, 21-3b und 21-3c werden zu D1, D2 und D3 gewählt, und die Amplitudenkennlinien und Phasenkennlinien dieser Kennlinien werden derart gesetzt, daß sie im wesentlichen gleich den Amplitudenkennlinien und Phasenkennlinien des Durchlaßbandes der Tiefpassfilter mit den gleichen angehängten Bezugsszahlen sind, sie sind dabei derart festgelegt, daß sie ebene Gruppenlaufzeitkennlinien besitzen.

Es werden nun die Amplitudenkennlinie und die Gruppenlaufzeitkennlinie eines Signals beschrieben, welches durch Kombination des Tiefband-, mittleren Tiefband-, mittleren Hochband-, und Hochbandsignals der Ausgangsanschlüsse 23, 25, 26 und 27 erhalten wird.

Ein dem Blockschaltbild der Fig. 6 äquivalentes Blockschaltbild ist in Fig. 7A gezeigt. In Fig. 7A besitzt ein Hochpass-Filter 30-1 eine Kennlinie (D1-LP1), die das Ergebnis einer Addition der Kennlinie -LP1, die durch Phaseninvertierung der Kennlinie des Tiefpass-Filters 22-1 erhalten wird, mit der Kennlinie D1 des Verzögerungskreises 21-1 ist. Ein weiteres Hochpass-Filter 30-2 besitzt eine Kennlinie (D2 - LP2), die ein Ergebnis der Addition der Kennlinie - LP2, die von der Phaseninvertierung der Kennlinie des Tiefpassfilters 22-2 herrührt, und der Kennlinie D2 des Verzögerungskreises 21-2 ist. Ein weiteres Hochpassfilter 30-3 besitzt eine Kennlinie (D3 - LP3), die das Ergebnis der Addition einer Kennlinie - LP3, welche durch Phaseninvertierung der Kennlinie des Tiefpassfilters 22-3 gewonnen wird, und der Kennlinie D3 des Verzögerungskreises 21-3 ist. Die Ausgänge des Hochpassfilters 30-3, des Tiefpassfilters 22-3 und der Verzögerungskreise 21-3a und 21-3b werden in einem Addierer 31 addiert und kombiniert, und das resultierende kombinierte Signal wird am Ausgangsanschluß 32 abgegeben. Das auf diese Weise am Ausgangsanschluß 32 erhaltene Signal ist dem Signal equivalent, welches durch Kombination der Ausgangssignale der Ausgangsanschlüsse 23, 25, 26 und 27 in Fig. 6 erhalten wird.

In Fig. 7A ergibt sich als Resultat D3, die Kennlinie des Verzögerungskreises 21-3, wenn die Kennlinie (D3 - LP3) des Hochpassfilters 30-3 und die Kennlinie LP3 des Tiefpassfilters 22-3 addiert werden.

809830/0959

2802938

In Fig. 7B können die drei Verzögerungskreise 21-3 in einen einzigen Verzögerungskreis 21-3 als ein gemeinsamer Verzögerungskreis zusammengefaßt werden, und die Blockschaltung der Fig. 7B kann in equivalenter Form gemäß Fig. 7C dargestellt werden. Fig. 7C ergibt sich als Summe die Größe D_2 , die die Kennlinie des Verzögerungskreises 21-2 darstellt, wenn die Kennlinie ($D_2 - LP_2$) des Hochpassfilters 30-2 und die Kennlinie LP_2 des Tiefpassfilters 22-2 addiert werden. Folglich kann das Blockschaltbild der Fig. 7C equivalent gemäß Fig. 7D dargestellt werden. Hierin lassen sich die Verzögerungskreise 21-2 als gemeinsamer Verzögerungskreis darstellen, und das Blockschaltbild der Fig. 7D kann daher equivalent gemäß Fig. 7E angegeben werden.

Wenn die Kennlinie ($D_1 - LP_1$) des Hochpassfilters 30-1 und die Kennlinie LP_1 des Tiefpassfilters 22-1 addiert werden, ergibt sich die Kennlinie D_1 des Verzögerungskreises 21-1. Folglich läßt sich die Blockschaltung der Fig. 7E equivalent gemäß Fig. 7F angeben.

Das kombinierte Signal der Ausgangssignale des Blockschaltbilds der Fig. 6 ist daher einem Signal equivalent, welches durch das Blockschaltbild der Fig. 7F hindurchgelaufen ist, d.h. durch eine Kaskadeschaltung von Verzögerungskreisen mit verschiedener Amplituden- und Gruppenlaufzeitkennlinie. Es lassen sich folglich Tiefpassfilter mit steiler Grenzfrequenzflanke als Tiefpassfilter 22-1, 22-2 und 22-3 verwenden. Darüberhinaus läßt sich durch Kombination aller Ausgangssignale ein kombiniertes Signal erhalten, dessen Amplitude- und Gruppenlaufzeitkennlinie beide eben verlaufen.

Die oben geschilderten Zusammenhänge und Ergebnisse lassen sich analytisch folgendermaßen durch Berechnung betrachten. In Fig. 6 lautet die Übertragungskennlinie oder Übertragungsfunktion H vom Eingangsanschluß 20 zum Ausgangsanschluß 27 folgendermaßen:

809830/0959

2802938

$$H = (D1 - LP1) \cdot (D2 - LP2) \cdot (D3 - LP3) \dots\dots(1)$$

Die Übertragungsfunktion HM vom Eingangsanschluß 20 zum Ausgangsanschluß 26 lautet folgendermaßen:

$$HM = (D1 - LP1) \cdot (D2 - LP2) \cdot LP3 \dots\dots\dots(2)$$

Die Übertragungsfunktion LM vom Eingangsanschluß 20 zum Ausgangsanschluß 25 lautet folgendermaßen:

$$LM = (D1 - LP1) \cdot LP2 \cdot D3 \dots\dots\dots(3)$$

Die Übertragungsfunktion L vom Eingangsanschluß 20 zum Ausgangsanschluß 23 lautet folgendermaßen:

$$L = LP1 \cdot D2 \cdot D3 \dots\dots\dots(4)$$

Wenn dann die Gleichungen (1) und (2) addiert werden, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} H + HM &= (D1 - LP1) \cdot (D2 - LP2) \cdot D3 = (D1 - LP1) \\ &\quad (D2 \cdot D3 - LP2 \cdot D3) \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Wenn Gleichungen (3) und (5) addiert werden, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} H + HM + LM &= (D1 - LP1) \cdot D2 \cdot D3 \\ &= D1 \cdot D2 \cdot D3 - LP1 \cdot D2 \cdot D3 \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

Wenn Gleichungen (6) und (4) addiert werden, ergibt sich folgende Gleichung:

$$H + HM + LM + L = D1 \cdot D2 \cdot D3 \dots\dots\dots(7)$$

809830/0959

2802938

Wie also oben in Verbindung mit den equivalenten Schaltungen beschrieben, werden die Kennlinien des kombinierten Signals gleich der Amplituden- und der Gruppenlaufzeitkennlinien einer Schaltung, welche die Verzögerungskreise 21-1, 21-2 und 21-3 in Kaskadeschaltung enthält.

Eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilter wird unter Bezugnahme auf Fig. 8 beschrieben, die ein Blockschaltbild dieser Ausführungsform zeigt. In Fig. 8 sind diejenigen Teile, die den Teilen der Fig. 6 entsprechen, mit gleichen Bezugszeichen versehen. Eine Beschreibung dieser Teile wird nicht wiederholt.

Ein Teil eines Eingangssignals, welches an den Eingangsanschluß 20 angelegt wird, läuft durch die Tiefpassfilter 22-3, 22-2 und 22-1, um die Gestalt eines Tiefbandsignals anzunehmen, welches am Ausgangsanschluß 23 abnehmbar ist. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-2, welches durch den Verzögerungskreis 21-1a hindurchgeleitet wurde, und ein aus der Phasenumkehr des Ausgangs des Tiefpassfilters 22-1 resultierendes Signal werden im Addierer 24-1 addiert, und das resultierende mittlere Tiefbandsignal wird am Ausgang 25 herausgeführt. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-3, welches durch den Verzögerungskreis 21-2a hindurchgelaufen ist, und ein durch Phasenumkehr des Ausgangs des Tiefpassfilters 22-2 erhaltenes Signal werden im Addierer 24-2 addiert. Das mittlere Hochbandausgangssignal des Addierers 24-2 durchläuft den Verzögerungskreis 21-1b und wird durch den Ausgangsanschluß 26 herausgeführt. Ein Signal vom Eingangsanschluß 20, welches den Verzögerungskreis 21-3 durchlaufen hat, und ein durch Phasenumkehr des Ausgangssignals des Tiefpassfilters 22-3 herrührendes Signal werden im Addierer 24-3 addiert. Das resultierende Hochband-Ausgangssignal des Addierers 24-3 durchläuft den Verzögerungskreis 21-2b und 21-1c und wird am Ausgangsanschluß 27 abgegeben.

809830/0959

Die erwünschte Gestalt der Kennlinien der vorliegenden Ausführungsform der Erfindung, die derjenigen der vorausgegangenen Ausführungsform ähnlich ist, wird nicht näher erläutert, da sie aus dem Verständnis der vorausgegangenen Ausführungsform leicht erschlossen werden kann.

In Fig. 9 ist eine vierte Ausführungsform der Erfindung in Form eines Blockschaltbilds dargestellt. Diejenigen Teile der Fig. 9, die Teilen der Fig. 6 entsprechen, sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. Eine Beschreibung derartiger Teile wird nicht vorgenommen. Ein Eingangssignal, welches am Eingangsanschluß 20 anliegt, läuft einerseits durch das Tiefpassfilter 22-2, den Verzögerungskreis 21-3a und das Tiefpassfilter 22-1, das resultierende Tiefbandsignal wird dann am Ausgangsanschluß 23 herausgeführt. Das Signal vom Tiefpassfilter 22-2 und dem Verzögerungskreis 21-3a, das durch den Verzögerungskreis 21-1 hindurchgelaufen ist, und das Phaseninvertierte Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-1 werden im Addierer 24-1 addiert, und das resultierende mittlere Tiefbandsignal wird am Ausgangsanschluß 25 abgenommen. Das Eingangssignal vom Eingangsanschluß 20, das andererseits durch den Verzögerungskreis 21-2 hindurchgelaufen ist, und das phaseninvertierte Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-2 werden im Addierer 24-2 addiert. Das resultierende Ausgangssignal des Addierers 24-2 wird andererseits durch den Verzögerungskreis 21-1 und das Tiefpassfilter 22-3 geführt und steht als mittleres Hochbandsignal am Ausgangsanschluß 26 zur Verfügung. Das Signal vom Addierer 24-2 und dem Verzögerungskreis 21-1, welches durch den Verzögerungskreis 21-3c gelaufen ist, und das phaseninvertierte Ausgangssignal des Tiefpassfilters 22-3 werden im Addierer 24-3 addiert, das resultierende Hochbandsignal steht am Ausgang 27 zur Verfügung.

809830/0959

2802938

Die Amplitude- und Gruppenlaufzeitkennlinie des durch Kombination der Ausgangssignale der Ausgangsanschlüsse 23, 25, 26 und 27 erhaltenen Signals wird nun beschrieben. Wie schon in Verbindung mit Fig. 7A bis 7F beschrieben wurde, besitzt die Kennlinie nach der Kombination des Frequenzbandteilungsfilters zur Teilung in zwei Bänder, wobei das Tiefpassfilter 22-3 und der Verzögerungskreis 21-3c vorgesehen ist, die Gestalt D1, und die Kennlinie besitzt nach dem Kombinationsschritt des Frequenzband-Teilungsfilters in zwei Bänder, der das Tiefpassfilter 22-1 und den Verzögerungskreis 21-1 enthält, die Gestalt D3. Folglich wird das kombinierte Signal der Ausgangssignale der in Fig. 9 gezeigten Blockschaltung dem Ausgangssignal der in Fig. 10A dargestellten Blockschaltung equivalent. Da der Verzögerungskreis 21-1 und 21-3 gemeinsam benutzt werden, Fig. 10A, wenn sie nach dem Addieren angeordnet sind, wird das Blockschaltbild der Fig. 10A dem Schaltbild der Fig. 10B equivalent. Ferner besitzt die Kennlinie nach Kombination des Frequenzband-Teilungsfilters zur Teilung in zwei Bänder, das das Tiefpassfilter 22-2 und den Verzögerungskreis 21-2 enthält, die Gestalt D2. Folglich wird das Blockschaltbild der Fig. 10B mit dem Blockschaltbild der Fig. 10C equivalent. Es sei bemerkt, daß das Blockschaltbild der Fig. 10C equivalent gleich dem Blockschaltbild der Fig. 7F ist. Die Amplitude- und die Gruppenlaufzeitkennlinie sind daher nach dem Kombinationsschritt beide eben.

Eine fünfte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters ist in Fig. 11 dargestellt, in der ein an den Eingangsanschluß 40 angelegtes Signal einem Verzögerungskreis 41-1 und einem Tiefpassfilter 42-2 zugeführt wird. Das resultierende Tiefbandsignal, welches durch das Tiefpassfilter 42-1 erhalten wird, wird am Ausgangsanschluß 44a abgenommen. Das Ausgangssignal des Verzögerungskreises 41-1 wird andererseits durch ein Tiefpassfilter 42-2 dem nicht invertierenden Eingangsanschluß eines Operationskrei-

809830/0959

ses 43-1 und dem invertierenden Eingang eines Operationskreises 43-2 zugeführt. Der Ausgang des Tiefpassfilters 42-1 wird dem invertierenden Eingangsanschluß des Operationskreises 43-1 zugeführt, wo es vom Ausgangssignal des Tiefpassfilters 42-2 entsprechend subtrahiert wird. Das resultierende Ausgangssignal des Operationskreises 43-1 wird als ein Mittenband-Ausgangssignal am Ausgangsanschluß 44b zur Verfügung gestellt. Das Ausgangssignal des Verzögerungskreises 41-1 wird andererseits durch einen Verzögerungskreis 41-2 geleitet und dem nicht invertierenden Eingangsanschluß des Operationskreises 43-2 zugeführt. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 42-2 wird andererseits dem invertierenden Eingangsanschluß des Operationskreises 43-2 zugeführt, wo es vom Ausgangssignal des Verzögerungskreises 41-2 entsprechend subtrahiert wird. Das resultierende Ausgangssignal des Operationskreises 43-2 wird als Hochbandsignal am Ausgangsanschluß 44c herausgeführt.

Wenn die Kennlinien der Tiefpassfilter 42-1 und 42-2 mit LP1 und LP2, die Kennlinien der Verzögerungskreise 41-1 und 41-2 mit D1 und D2 bezeichnet werden, so ergeben sich die Übertragungsfunktionen H, M und L vom Eingangsanschluß 40 zu den drei Ausgangsanschlüssen 44c, 44b bzw. 44a in folgender Gestalt:

$$\begin{aligned} H &= D1 \cdot (D2 - LP2) = D1 \cdot D2 - D1 \cdot LP2 \\ M &= D1 \cdot LP2 - LP1 \\ L &= LP1 \end{aligned}$$

Die Kennlinie der Kombination der Ausgangssignale aller drei Ausgangsanschlüsse 44a, 44b und 44c besitzt folgende Gestalt:

$$\begin{aligned} H + M + L &= D1 \cdot D2 - D1 \cdot LP2 + D1 \cdot LP2 - LP1 + LP1 \\ &= D1 \cdot D2 \end{aligned}$$

809830/0959

Die kombinierte Kennlinie besitzt daher die gleiche Gestalt wie eine Kaskadenverbindung der Verzögerungskreise 41-1 und 41-2, sie ist unabhängig von der Kennlinie der beiden Tiefpassfilter. Aus diesem Grund lassen sich Tiefpassfilter mit steiler Grenzfrequenzflanke verwenden, und es ergibt sich nach dem Kombinationsschritt eine ebene Amplituden- und Gruppenlaufzeitkennlinie.

Der Schaltungsaufbau der Hochpass-Seite entspricht in diesem Fall demjenigen Fall, bei dem der Verzögerungskreis 41-1 in Kaskadenverbindung mit der Hochpass-Seite des Blockschaltbilds der Fig. 3 verbunden ist. Dadurch, daß die Amplituden- und Phasenkennlinie des Verzögerungskreises 41-2 im Wesentlichen gleich der Amplituden- und Phasenkennlinie des Durchlaßbandes des Tiefpassfilters 42-2 gesetzt wird, wird ein Hochpassfilter mit steiler Grenzfrequenzcharakteristik erhalten. Wenn der Verzögerungskreis 41-1 mit ebener Amplitudenkennlinie in Kaskadenanordnung mit dem Hochpassfilter mit derartigen Eigenschaften verbunden wird, ergibt sich keine Auswirkung auf die verschiedenen Kennlinien.

Der Schaltungsaufbau auf der Bandpaßseite entspricht einer Kaskadenverbindung des Verzögerungskreises 41-1 und des Tiefpaßfilters 42-2, von dem das Tiefpaßfilter 42-1 weggenommen wurde. Dadurch, daß die Amplitude- und Phasenkennlinien der Kaskadenverbindung des Verzögerungskreises 41-1 und des Tiefpassfilters 42-2 und die Amplitude- und die Phasenkennlinie des Tiefpassfilters 42-2 gleich gemacht werden, kann der Verlauf an der Grenzfrequenz der Tiefpass-Seite der Bandpaßkennlinie ähnlich steil wie auf der Hochpass-Seite im Fall der Teilung in zwei Bänder gemacht werden. Andererseits nehmen auf der Hochpaßseite des Bandpasses beide Ausgangssignale der Tiefpaßfilter 42-1 und 42-2 ab, und das Ausgangssignal nimmt daher natürlich nach Subtraktion auch ab. Wenn daher Tiefpaßfilter mit steilem Verlauf an

809830/0959

der Grenzfrequenz für die beiden Tiefpaßfilter 42-1 und 42-2 verwendet werden, wird der Verlauf im Bereich der Grenzfrequenz auf der Hochpaßseite der Bandpasskennlinie ebenfalls steil.

Da die Kennlinien auf der Tiefpaßseite die Kennlinien der Tiefpaßfilter 42-1 sind, wird ein steiler Verlauf an der Grenzfrequenz erreicht.

Eine sechste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Frequenzband-Teilungsfilters wird nun in Verbindung mit Fig. 12 beschrieben. In Fig. 12 sind diejenigen Teile, die den in Fig. 11 dargestellten Teilen entsprechen, mit gleichen Bezugszeichen versehen. Eine Beschreibung derartiger Teile wird nicht wiederholt. Ein Tiefbandsignal und ein mittleres Tiefbandsignal werden von den Ausgangsanschlüssen 44a und 44b herausgeführt. Das Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 42-3 wird dem nicht invertierenden Eingang des Addierers 43-2 zugeführt, und das Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 42-2 wird dem invertierenden Eingang dieses Addierers zugeführt und im Addierer 43-2 subtrahiert, und das resultierende mittlere Hochband-Ausgangssignal wird am Ausgangsanschluß 44c herausgeführt. Das Ausgangssignal des Verzögerungskreises 41-3 und das Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 42-3 werden dem nicht invertierenden bzw. invertierenden Eingang eines Addierers 43-3 zugeführt und dort tatsächlich einer Subtraktion unterworfen. Das resultierende Hochband-Ausgangssignal wird am Ausgangsanschluß 44d herausgeführt.

Wenn die Kennlinien der Tiefpaßfilter 42-1, 42-2 und 42-3 mit LP1, LP2 und LP3, und die Kennlinien der Verzögerungskreise 41-1, 41-2 und 41-3 mit D1, D2 und D3 bezeichnet werden, lauten die Übertragungsfunktionen der von dem Eingangsanschluß 40 zu den vier Ausgangsanschlüssen folgendermaßen.

809830/0958

Die Übertragungskennlinie vom Eingangsanschluß 40 zum Ausgangsanschluß 44d lautet:

$$D1 \cdot D2 \cdot (D3 - LP3) = D1 \cdot D2 \cdot D3 - D1 \cdot D2 \cdot LP3.$$

Die Funktion vom Eingangsanschluß 40 zum Ausgangsanschluß 44c lautet:

$$D1 \cdot (D2 \cdot LP3 - LP2) = D1 \cdot D2 \cdot LP3 - D1 \cdot LP2.$$

Die Funktion vom Eingangsanschluß 40 zum Ausgangsanschluß 44b lautet:

$$D1 \cdot LP2 - LP1.$$

Die Funktion vom Eingangsanschluß 40 zum Ausgangsanschluß 44a lautet:

$$LP1.$$

Wenn folglich die Ausgangssignale aller Ausgangsanschlüsse 44a bis 44d addiert werden, ergibt sich folgende Summe:

$$\begin{aligned} D1 \cdot D2 \cdot D3 - D1 \cdot D2 \cdot LP3 + D1 \cdot D2 \cdot LP3 - D1 \cdot LP2 + D1 \cdot LP2 \\ - LP1 + LP1 = D1 \cdot D2 \cdot D3 \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis gleicht demjenigen einer Kaskadenverbindung von drei Verzögerungskreisen mit den Kennlinien D1, D2 und D3 und ist mit den Kennlinien der Tiefpassfilter nicht verknüpft. Der Verlauf an der Grenzfrequenz kann daher steil gewählt werden, und darüberhinaus kann die Amplituden- und die Gruppenlaufzeitkennlinie eben sein.

Die Amplitude- und die Phasenkennlinie einer Kaskadenverbindung des Verzögerungskreises 41-1 und des Tiefpassfilters 42-2 sind im Wesentlichen gleich den Kennlinien im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 42-1. Die Amplitude- und die Phasenkennlinie einer Kaskadenverbindung des Verzögerungskreises 41-2 und des Tiefpaßfilters 42-3 sind im Wesentlichen gleich denjenigen Kennlinien im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 42-2. Die Amplitude- und die Phasenkennlinie des Verzögerungskreises 41-3 sind im wesentlichen gleich denjenigen Kennlinien im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 42-3. Die Amplitude- und die Phasenkennlinie einer Kaskadenverbindung aller drei Verzögerungskreise 41-1, 41-2 u. 41-3 sind im wesentlichen gleich denjenigen Kennlinien im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 42-1 mit dem schmalsten Durchlaßband.

Wie folglich aus einem Vergleich der Fig. 6 und 12 ersichtlich ist, reicht bei der vorliegenden Ausführungsform der Erfindung eine kleinere Anzahl von Verzögerungskreisen aus als bei der Ausführungsform gemäß Fig. 6. Der Gesamtwert der Verzögerungszeiten der erforderlichen Verzögerungskreise wird durch die Phasenkennlinie im Durchlaßband des Tiefpaßfilters mit dem schmalsten Durchlaßband bestimmt. Dies entspricht der Kennlinie des Verzögerungskreises 21-1 der Fig. 6 und ist bezüglich dem Gesamtwert der Verzögerungszeiten der erforderlichen Verzögerungskreise wesentlich besser.

In den Fig. 11 und 12 sind solche Ausführungsformen der Erfindung dargestellt, bei denen Teilungen in Bänder mit drei Kanälen bzw. vier Kanälen durchgeführt werden. Im Fall der Teilung in n Kanäle läßt sich ein Blockschaltbild gemäß der Fig. 13 verwenden. Der Schaltungsaufbau, der Betrieb und die Kennlinien und andere Eigenschaften dieses Filters lassen sich aufgrund der anhand der Fig. 11 und 12 beschriebenen Ausführungsformen leicht verstehen, sie sind daher nicht näher beschrieben.

809830/0959

In jeder der oben geschilderten Ausführungsformen der Erfindung sind die Grenzfrequenzen der verschiedenen Tiefpassfilter untereinander verschieden, so daß Signale mit verschiedenen spezifischen Bändern durchgelassen werden. So besitzen z.B. die Grenzfrequenzen f_1 , f_2 und f_3 der Tiefpassfilter 22-1, 22-2 und 22-3 der Figuren 6, 8 u. 9 folgende Beziehung untereinander: $f_1 < f_2 < f_3$. Das Gleiche gilt für die Ausführungsformen der Erfindung, die in den Fig. 11, 12 und 13 dargestellt sind.

Für die Verzögerungskreise im Filter der vorliegenden Erfindung lassen sich ladungsgekoppelte Schaltungen (CCD) oder sogenannte Bucket-Brigade-Schaltungen (BBD) verwenden, welche Analogspannungen, so wie sie vorkommen, verzögern. Alternativ lassen sich digitale Schieberegister verwenden. Im Falle, daß diese Schieberegister verwendet werden, ist es erforderlich, eine Analog/Digitalwandlung (A-D-Wandlung) der Frontstufe und eine Digital-Analogwandlung (D-A-Wandlung) der letzten Stufe durchzuführen. Solange die Gruppenlaufzeitkennlinie eines Schaltkreises in dem verwendeten Band eben (ungefähr 20 Hz bis 20KHz im Falle eines Hörsignals) ist, kann eine derartige Schaltung im wesentlichen als ein Verzögerungskreis betrachtet werden. Aus diesem Grund kann eine Schaltung mit einer Kombination von Phasenverschiebungskreisen oder Tiefpassfilter höherer Ordnung mit einer ausreichend hohen Grenzfrequenz als Verzögerungskreise verwendet werden.

In jeder der vorausgehend beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung wurde die Amplitudenkennlinie und die Phasenkennlinie aller Verzögerungskreise im Durchlaßband des entsprechenden Tiefpaßfilters als theoretisch gleich bezüglich der Amplitudenkennlinie und der Phasenkennlinie des Tiefpaßfilters angesehen. In der Praxis ist es jedoch schwierig, die Amplituden- und Phasenkennlinien der Verzögerungskreise genau in Übereinstimmung mit denjenigen Kennlinien des entsprechenden Tiefpaß-

809830/0959

filters zu bringen. Dieses Problem ist in den folgenden erfindungsgemäßen Ausführungsformen gelöst.

Es ist höchst wünschenswert, daß die Phasenkennlinie des Verzögerungskreises gleich der Phasenkennlinie des Tiefpassfilters über das gesamte Frequenzband des Tiefpaßfilters ist. Aus praktischen Gründen lassen sich jedoch zufriedenstellende Ergebnisse erzielen, wenn die Phasenkennlinie des Verzögerungskreises gleich der Phasenkennlinie des Tiefpaßfilters in dessen Durchlaßband und in der Nähe seiner Grenzfrequenz ist (im wesentlichen zusammenfallend mit der Schnitt- oder Kreuzungsfrequenz als beim Frequenzband-Teilungsfiler). Selbst in diesem Fall ist es jedoch schwierig, zu veranlassen, daß die beiden Phasenkennlinien gleich sind. Dieses Problem wurde erfindungsgemäß in einer weiteren Ausführungsform gelöst, die untenstehend in Verbindung mit den Fig. 14 bis 18 beschrieben wird.

In Fig. 14 sind diejenigen Teile, die mit Teilen der Fig. 3 übereinstimmen, mit gleichen Bezugszeichen versehen, eine genaue Beschreibung derartiger Teile wird nicht wiederholt. Ein Signal eines speziellen Frequenzbandes, das durch das Tiefpaßfilter 12 hindurchgelaufen ist, wird durch einen Phasenverschiebungskreis 50 in der Phase verschoben. Das derart phasenverschobene Signal wird einerseits als Tiefband-Ausgangssignal am Ausgangsanschluß 13 herausgeleitet, es wird andererseits über den Inverter 14 dem Addierer 15 zugeführt. Bezüglich aller anderen Aspekte ist der Schaltungsaufbau der in Fig. 14 dargestellten Ausführungsform gleich dem Aufbau der Fig. 3.

Die Kennlinie LP des Tiefpaßfilters 12 wird zu $LP = 1/(1 + T_{1s})^2$ gewählt, wobei $T_1 = 1/(2\pi f_c)$, mit einer Grenzfrequenz f_c von 1 KHz. Die Amplitudenkennlinie $G(LP)$ und die Phasenkennlinie $P(LP)$ sind durch die Kurven I und II in Fig. 15 dargestellt, wobei dieser Figur entnommen werden kann, daß das Filter 12 einen relativ guten Verlauf an der Grenzfrequenz

809830/0959

besitzt. Die Amplitudenkennlinie $G(D)$ und die Phasenkennlinie $P(D)$ und des Verzögerungskreises 11 sind durch eine gerade Linie III und eine Kurve IV in Fig. 15 dargestellt. Die Verzögerungszeit des Verzögerungskreises 11 beträgt z.B. 350 μ s, die Verstärkung beträgt 0 dB.

Die Kennlinie PS des Phasenverschiebungskreises 50 wird gewählt zu: $PS = (1 - \zeta T_{2s})^2 / (1 + \zeta T_{2s})^2$ (wobei $T_2 = T_1/2.5$, $\zeta = 0.3$). Die Amplitudenkennlinie $G(PS)$ und die Phasenkennlinie $P(PS)$ des Phasenverschiebungskreises 50 sind durch die gerade Linie III bzw. die Kurve V in Fig. 15 dargestellt. Die Kennlinien dieses Phasenverschiebungskreises 50 sind derart gewählt, daß die Amplitudenkennlinie $G(LP + PS)$, dargestellt durch die Kurve I in Fig. 15, und die Phasenkennlinie $P(LP + PS)$, dargestellt durch die Kurve VI in Fig. 15, einer durch Kaskadenverbindung des Tiefpaßfilters 12 und des Phasenverschiebungskreises 50 gebildeten Schaltung im wesentlichen gleich der Amplitudenkennlinie $G(D)$, als gerade Linie III in Fig. 15 dargestellt, und der Phasenkennlinie $P(D)$, dargestellt in Kurve IV der Fig. 15, des Verzögerungskreises 11 im Durchlaßband und in der Nähe der Grenzfrequenz (1KHz) des Tiefpaßfilters 12 sind.

Wie ein Vergleich der Kurve II in Fig. 15, welche die Phasenkennlinie $P(LP)$ des Tiefpaßfilters 12 darstellt, mit der Kurve VI ergibt, welche die Phasenkennlinie $P(LP + PS)$ der aus Kaskadenschaltung des Tiefpaßfilters 12 mit dem Phasenverschiebungskreis 50 gebildeten Schaltung darstellt, ist die Phasenkennlinie dieser Kaskadenschaltung des Tiefpaßfilters 12 und des Phasenverschiebungskreises 50 der Phasenkennlinie $P(D)$ des Verzögerungskreises 11, wie durch Kurve IV dargestellt, besser angenähert, als die Phasenkennlinie lediglich des Tiefpaßfilters 12 im Durchlaßband und in der Nähe der Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters 12.

2802938

Selbst wenn die Phasenkennlinie des Tiefpassfilters 12 eine Kennlinie gemäß der Kurve II ist, ergibt sich durch Kaskadenschaltung mit dem Phasenverschiebungskreis 50 die durch die Kurve VI dargestellte Kennlinie, welche der durch die Kurve IV dargestellten Kennlinie des Verzögerungskreises 11 besser angenähert ist. Aus diesem Grund sind die Ausgangssignale des Verzögerungskreises 11 und des Inverters 14 untereinander im wesentlichen von entgegengesetzter Phase und es wird im Operationskreis 15 eine gute Verarbeitung durchgeführt.

809830/0959

Die Amplitudenkennlinie des Hochband-Ausgangssignals, welches am Ausgangsanschluß 16 der Fig. 14 abgegeben wird, nimmt als Ergebnis die durch Kurve II in Fig. 16 dargestellte Gestalt an. Wie sich aus einem Vergleich dieser Amplitudenkennlinie, Kurve II, mit der Amplitudenkennlinie (Kurve IIIH der Fig. 5) des Hochband-Ausgangssignals des in Fig. 3 dargestellten Schaltkreises ergibt, die in Kurve I der Fig. 15 dargestellt ist, ist der Verlauf an der Grenzfrequenz verbessert. Die Kurve III in Fig. 16 gibt die Amplitudenkennlinie des Tiefband-Ausgangssignals wieder, das am Ausgangsanschluß 13 abnehmbar ist.

Wenn die Ausgangssignale der Ausgangsanschlüsse 13 und 16 kombiniert werden, lautet die Kennlinie des kombinierten Signals $LP \cdot PS + D - LP \cdot PS = D$ (wobei PS die Kennlinie des Phasenverschiebungskreises ist), und diese Kennlinie des kombinierten Signals wird, ähnlich wie bei der Ausführungsform der Erfindung gemäß Fig. 3, nur durch die Kennlinie D des Verzögerungskreises 11 ausgedrückt, dessen Amplitudenkennlinie und Laufzeitkennlinie beide eben sind und mit den Kennlinien LP und PS des Tiefpaßfilters 12 und des Phasenverschiebungskreises 50 nicht verknüpft sind.

In den Fig. 17 und 18 sind Ausführungsformen der Erfindung dargestellt, die sich ergeben, wenn obige Überlegungen auf die Ausführungsformen gemäß den Fig. 6 und 11 angewendet werden. In den Fig. 17 und 18 sind diejenigen Teile, die den Teilen der Fig. 6 und 11 entsprechen, mit gleichen Bezugszeichen versehen, und auf eine ausführlichere Beschreibung derartiger Teile wird verzichtet.

In der in Fig. 17 dargestellten Ausführungsform sind die Phasenverschiebungskreise 51-1, 51-2 und 51-3 in Kaskade mit den Tiefpaßfiltern 22-1, 22-2 und 22-3 geschaltet. Es ist nicht notwendig, einen Phasenverschiebungskreis an jedes Tiefpaßfilter anzuschließen, und es läßt sich ein

809830/0959

Schaltungsaufbau verwenden, bei dem ein Phasenverschiebungskreis nur in jedem Bandsystem mit dem entsprechenden Tiefpaßfilter in Kaskade oder Serie geschaltet ist, in dem ein besonders scharfer Verlauf an der Grenzfrequenz erzielt werden soll.

In der Schaltung nach Fig. 18 sind Phasenverschiebungskreise 52-1 und 52-2 in Serie mit den Tiefpaßfiltern 42-1 bzw. 42-2 geschaltet. Hierbei wird die Kennlinie PS2 des Phasenverschiebungskreises 52-2 derart gesetzt, daß die Amplitudenkennlinie (Kurve I in Fig. 15) und die Phasenkennlinie (Kurve VI in Fig. 15) der Serienschaltung aus Tiefpaßfilter 42-2 und Phasenverschiebungskreis 52-2 im wesentlichen gleich der Amplitudenkennlinie (gerade Linie III) und der Phasenkennlinie (Kurve IV) des Verzögerungskreises 41-2 im Durchlaßband und in der Nähe der Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters 42-2 ist (nur das Durchlaßband bezüglich der Amplitudenkennlinie), wobei dessen Amplituden- und Phasenkennlinien durch die Kurven I und II in Fig. 15 dargestellt sind.

Die Kennlinie PS1 des Phasenverschiebungskreises 52-1 ist derart gesetzt, daß die Amplituden- und die Phasenkennlinie der Serienschaltung aus Tiefpaßfilter 42-1 und Phasenverschiebungskreis 52-1 im wesentlichen gleich der Amplituden- und der Phasenkennlinie der Serienschaltung aus Verzögerungskreis 41-1, Tiefpaßfilter 42-2 und Phasenverschiebungskreis 52-2 im Durchlaßband und in der Nähe der Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters 42-1 ist (nur das Durchlaßband bezüglich der Amplitudenkennlinie).

Wenn die an den Ausgangsanschlüssen 23, 25, 26 und 27 herausgeführten Signale kombiniert werden, weist die Kennlinie des kombinierten Signals folgende Form auf:

$LP\ 1 \cdot PS\ 1 + D\ 1 \cdot LP\ 2 \cdot PS\ 2 - LP1 \cdot PS1 + D1 \cdot D2 - D1$
 $\cdot LP2 \cdot PS2 = D1 \cdot D2.$ Die Kennlinie des kombinierten Signals

809830/0959

wird demnach lediglich durch die Kennlinien D1 und D2 der Verzögerungskreise 41-1 und 41-2 bestimmt, sie ist mit den Kennlinien LP1, LP2, PS1 und PS2 der Tiefpaßfilter 42-1 und 42-2 und der Phasenverschiebungskreise 52-1 und 52-2 nicht verknüpft. Die Amplitudenkennlinie und die Laufzeitkennlinie des kombinierten Signals sind daher beide eben.

In den vorausgegangenen achten, neunten und zehnten Ausführungsformen der Erfindung, die unter Bezugnahme auf die Fig. 14, 17 und 18 beschrieben wurden, ist ein Phasenverschiebungskreis zweiter Ordnung in Kaskade in eine Stufe mit jeweils einem Tiefpaßfilter geschaltet, diese Anordnung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Je nach dem Zweck lassen sich auch Phasenverschiebungskreise höherer Ordnung verwenden, und es können Phasenverschiebungskreise in einer Vielzahl von Stufen in Kaskade oder Serie geschaltet werden. Weiterhin kann ein Tiefpaßfilter oder der entsprechende Phasenverschiebungskreis in der Abfolge innerhalb der Kaskadenschaltung vorn angeordnet sein. Der Phasenverschiebungskreis kann in einem einzigen Signalübertragungspfad, der das Tiefpaßfilter enthält, angeordnet sein.

Um eine ebene Amplitudenkennlinie dadurch zu erhalten, daß die Ausgangssignale aller Bänder des Frequenzband-Teilungsfilters direkt kombiniert werden, müssen die Werte dieser Ausgangssignale entsprechend gesetzt werden. Da in der Praxis jedoch eine Pegeleinrichtung verwendet wird, um die Werte der Verstärker und Lautsprecher unterschiedlicher Amplitudenkennlinie, die den späteren Stufen des Frequenzband-Teilungsfilters nachgeschaltet sind, zu vereinheitlichen, ergibt sich kein Problem, wenn z.B. die Ausgangspegel aller Bänder dieses Filters verschieden sind.

Selbst wenn ein Ausgangssignal unter den Ausgangssignalen der entsprechenden Bänder eine entgegengesetzte Po-

809830/0959

larität (entgegengesetzte Phase) besitzt, so stellt dies ebenfalls kein Problem dar, da die Phase leicht durch Anschluß von Baueinheiten, wie z.B. Verstärker und Lautsprecher, wieder umgekehrt werden kann.

Da selbst durch verschiedene Werte der Ausgangssignale der Bänder kein Problem aufgeworfen wird, müssen die Amplituden- und Phasenkennlinie nicht in allen Bändern gleich sein, das einzige Erfordernis besteht darin, daß nur die Phasenkennlinien gleich sind. In der in Fig. 17 dargestellten Ausführungsform besteht die einzige Anforderung darin, daß die Phasenkennlinien der Verzögerungskreise 21-2a und 21-2b gleich sind, und daß die Phasenkennlinien der Verzögerungskreise 21-3a, 21-3b und 21-3c gleich sind.

Während die Amplitudenkennlinien im Durchlaßband der Tiefpaßfilter leicht alle auf den Wert 0 dB gesetzt werden können, so ist in einem Verzögerungskreis, bei dem z.B. eine sog. Überlaufbrigadeneinrichtung (bucket brigade device, BBD) verwendet wird, die Amplitudenkennlinie im Durchlaßband minus eine gewisse Zahl von dB, und in einem Verzögerungskreis, bei dem ein Tiefpaßfilter höherer Ordnung vom konstanten K-Typ verwendet wird, wird die Amplitudenkennlinie nicht größer als -6 dB. Es ist folglich schwierig, die Amplitudenkennlinie des Verzögerungskreises gleich derjenigen des Durchlaßbands des Tiefpaßfilters zu setzen.

Dieses Problem wird in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung gelöst, die untenstehend beschrieben ist. Der Verzögerungskreis 11, der in Fig. 19 gezeigt ist, enthält ein ideales Tiefpaßfilter vom konstanten K-Typ, bei dem die Amplitudenkennlinie im wesentlichen gleich 0,5 (-6 dB) gesetzt ist. Die Amplitudenkennlinie des Tiefpaßfilters 12 wird im Durchlaßband im wesentlichen gleich 1 (0 dB) gesetzt. Ein durch das Tiefpaßfilter 12 hindurchlaufendes Signal wird am Ausgangsanschluß 13 als ein Tiefband-Ausgangs-

809830/0959

signal herausgeführt, und es wird gleichzeitig einem einen Koeffizienten in Anwendung bringenden Operationskreis 60 zugeführt, wo es mit einem Koeffizienten K2 multipliziert ist und dann einem Operationsverstärker 61 zugeführt wird. Andererseits wird ein Signal vom Verzögerungskreis 11 mit einem Koeffizienten K1 multipliziert und dann dem Operationsverstärker 61 zugeleitet, wo es dem oben genannten Signal vom Tiefpaßfilter 12 hinzuaddiert wird, das mit dem Koeffizienten K2 multipliziert wurde. Diese Koeffizienten K1 und K2 werden hier zu $K1 = 2$ und $K2 = -1$ gewählt. Die Signale vom Verzögerungskreis 11 und dem Tiefpaßfilter 12 mit einer untereinander verschiedenen Amplitudenkennlinie erhalten dadurch die gleiche Amplitudenkennlinie, daß die Koeffizienten zur Anwendung gebracht werden und diese Signale im Operationsverstärker 61 als Signale subtrahiert werden, die im wesentlichen dieselbe Phase und denselben Wert im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 12 aufweisen. Es wird daher ein Hochbandausgangssignal mit scharfer Grenzfrequenzflanke am Ausgangsanschluß 16 abgegeben.

In diesem Fall kann ein scharfer Grenzfrequenz-Flankenverlauf des Hochband-Ausgangssignals erhalten werden, wenn das Ausgangssignal des Operationskreises 60 genügend niedrig im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 12 ist. Aus diesem Grund brauchen die Koeffizienten K1 und K2 nicht die obengenannten Werte zu besitzen, sie können z.B. auch folgende Kombinationen aufweisen, $K1 = 1$, $K2 = 0,5$ oder $K1 = -2$, $K2 = 1$, vorausgesetzt, daß folgende Gleichung gilt:

$$\frac{K1}{K2} = \frac{\text{Amplitudenkennlinie des Tiefpaß-Filters im Durchlaßband}}{\text{Amplitudenkennlinie des Verzögerungskreises im Durchlaßband des Tiefpaßfilters}}$$

Der obengenannte Koeffizientenanwendungskreis 60 enthält in der Praxis z.B. eine Kombination aus einem Operationsverstärker 62 und Widerständen R1 bis R4, wie in

809830/0959

Fig. 20A gezeigt ist. Die Eingangsanschlüsse 63 und 64 sind über Widerstände R1 und R3 an den invertierenden Eingang bzw. nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 62 angeschlossen. Ein Widerstand R2 liegt zwischen dem Ausgangsanschluß und dem invertierenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 62, und der nichtinvertierende Eingang ist über einen Widerstand R4 an Masse (Erde) gelegt. Ein mit einem negativen Koeffizienten zu multiplizierendes Signal wird in dieser Schaltung am Eingangsanschluß 63 zugeführt, während ein mit einem positiven Koeffizienten zu multiplizierendes Eingangssignal am Eingangsanschluß 64 angelegt wird.

Für den Operationskreis 60 läßt sich eine Schaltung gemäß Fig. 20B verwenden, sofern ein Schaltungsaufbau verwendet wird, bei dem im Durchlaßband des Tiefpaßfilters das Tiefpaßfilter und der Verzögerungskreis entgegengesetzte Polarität (entgegengesetzte Phase) besitzen (wobei in diesem Fall angenommen wird, daß die Phasenkennlinien im wesentlichen gleich sind und eine Amplitudenkennlinie negativ ist, obwohl auch in Betracht gezogen werden kann, daß die Phasenkennlinien verschieden sind). In Fig. 20B sind die Eingangsanschlüsse 63 und 64 über Widerstände R5 bzw. R6 mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 62 verbunden. Ein Widerstand R7 liegt zwischen dem Ausgangsanschluß und dem invertierenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 62, der nichtinvertierende Eingangsanschluß ist direkt an Masse (Erde) gelegt. In diesem Fall werden die durch die Anschlüsse 63 und 64 einlaufenden Signale mit negativen Koeffizienten multipliziert und dann addiert.

In den Fig. 21 bis 25 wird nun eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt, die dadurch gebildet wird, daß der in Fig. 19 dargestellte Schaltkreis als eine in zwei Bänder teilende Basiseinheitsschaltung benutzt und bei einem Filter mit in drei Bänder teilendem Aufbau gemäß

809830/0959

den Ausführungsformen der Fig. 3, 6, 11 usw. angewendet wird. In den Fig. 21 bis 25 werden diejenigen Teile, die Teilen der Fig. 6 und 11 entsprechen, mit gleichen Bezugszeichen versehen, eine genauere Beschreibung derartiger Teile wird nicht vorgenommen.

In Fig. 21 enthält eine in zwei Bänder teilende Basiseinheitsschaltung 70 einen Verzögerungskreis 21-1, ein Tiefpaßfilter 22-1 und einen Addierer 24-1 ähnlich der Schaltung gemäß den Fig. 3 und 6. Eine Basiseinheitsschaltung 71 zum Teilen des Ausgangssignals des Addierers 24-1 in zwei Bänder besitzt einen der Schaltung gemäß Fig. 19 entsprechenden Schaltungsaufbau und enthält einen Verzögerungskreis 21-2b, ein Tiefpaßfilter 22-2 und einen Koeffizienten zur Anwendung bringenden Operationskreis 60. Ausgangssignale mit Tiefband, Mittenband und Hochband werden an den Ausgangsanschlüssen 72a, 72b bzw. 72c abgegeben.

Gemäß der vorliegenden Ausführungsform der Erfindung ist es zur Erzielung eines guten Grenzfrequenz-Flankenverlaufs im Hochband nicht nötig, die Amplitudenkennlinie des Verzögerungskreises 21-2b im wesentlichen gleich der Amplitudenkennlinie des Tiefpaßfilters 22-2 im Durchlaßband des Tiefpaßfilters 22-2 zu setzen, die einzige Forderung besteht lediglich darin, daß die Phasenkennlinien gleich sind, wodurch der Entwurf und die Herstellung erleichtert werden.

Als eine Abwandlung der in der Fig. 21 dargestellten Ausführungsform lassen sich die Basiseinheitsschaltungen 70 und 71 untereinander vertauschen.

Bei der in Fig. 22 dargestellten Ausführungsform der Erfindung wird eine einen Koeffizienten zur Anwendung bringende Operationsschaltung 60-1 anstelle des Addierers 24-1 der Ausführungsform gemäß Fig. 21 verwendet. Gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung lassen sich ein Hochband-

809830/0989

Ausgangssignal und ein Mittenband-Ausgangssignal mit gutem Grenzfrequenz-Flankenverlauf erhalten, selbst wenn die Amplitudenkennlinien der Verzögerungskreise 21-1 und 21-ab nicht gleich den Amplitudenkennlinien der Tiefpaßfilter 22-1 und 22-2 im Durchlaßband sind.

Wie ferner in Fig. 23 dargestellt ist, kann der einen Koeffizienten zur Anwendung bringende Operationskreis 60 anstelle des Addierers 43-2 in der Ausführungsform gemäß Fig. 11 verwendet werden. Ebenfalls kann, wie in Fig. 24 gezeigt ist, der einen Koeffizienten zur Anwendung bringende Operationskreis 60 anstelle des Addierers 43-1 in der Ausführungsform gemäß Fig. 11 verwendet werden. Ferner können, wie in Fig. 25 dargestellt, Koeffizienten zur Anwendung bringende Kreise 60-1 und 60-2 anstelle der Addierer 43-1 und 43-2 in der Ausführungsform gemäß Fig. 11 verwendet werden.

Die Werte der Koeffizienten der genannten, einen Koeffizienten zur Anwendung bringenden Operationskreise sind nicht auf die im Rahmen der oben geschilderten Ausführungsform der Erfindung genannten Werte beschränkt. Z.B. lassen sich Werte $K_1 = 1$ und $K_2 = -0,5$ verwenden. In diesem Fall wird, wenn das Hochband-Ausgangssignal und das Tiefband-Ausgangssignal kombiniert werden, die Hochbandseite 0,5 (-6 dB) im Verhältnis zur Tiefbandseite, und die Amplitudenkennlinie ist nicht mehr eben. In der Praxis ergibt sich jedoch im wesentlichen kein Problem, da eine Pegel-einstelleinrichtung verwendet wird, um die Hochband- und die Tiefbandpegel der Verstärker und der Lautsprecher mit unterschiedlicher Amplitudenkennlinie zu vereinheitlichen, die an weiter hinten liegenden Stufen des Frequenzband-Teilungsfilters angeschlossen werden.

Selbst wenn die Koeffizienten von untereinander entgegengesetzter Polarität (entgegengesetzter Phase) sind,

809830/0959

2802938

wie z.B. $K1 = -2$ und $K2 = 1$, ergibt sich im wesentlichen kein Problem, da die Phasen durch Anschluß von solchen Komponenten, wie z.B. Verstärker und Lautsprecher, leicht wieder invertiert werden können.

Zusätzlich ist es nicht erforderlich, daß sowohl die Amplitudenkennlinien als auch die Phasenkennlinien des Verzögerungskreises der Basiseinheitsschaltung für die Zweibandteilung und des Verzögerungskreises für die Kompensation, der korrespondierend in einem anderen Bandsignalpfad angeordnet ist, gleich sein müssen, es genügt, daß die Phasenkennlinien gleich sind.

Pö/gu/Rb

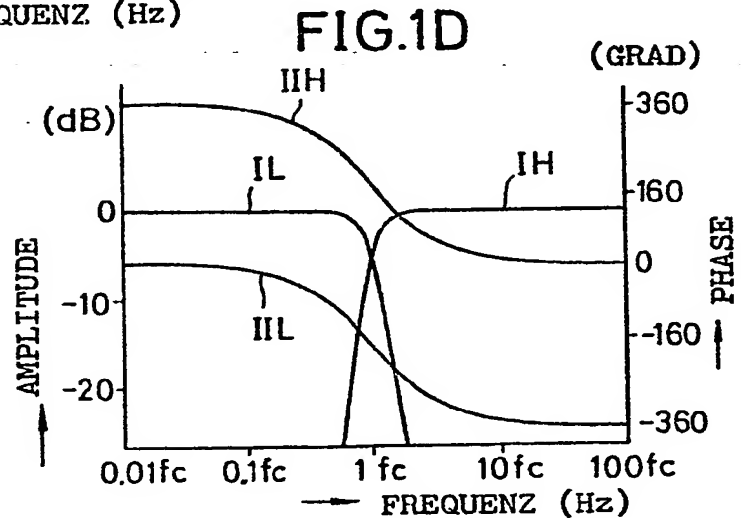
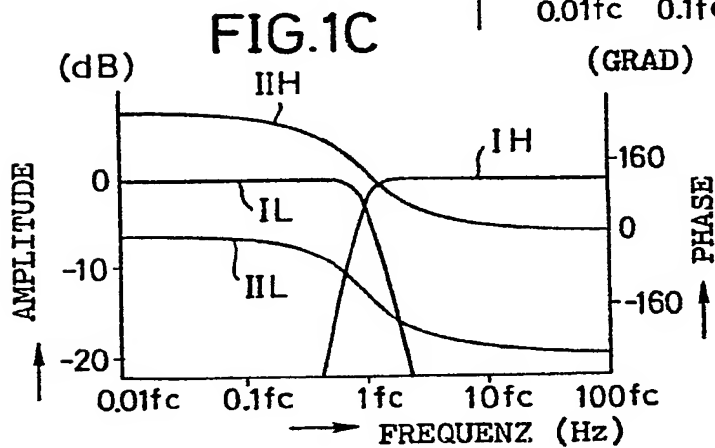
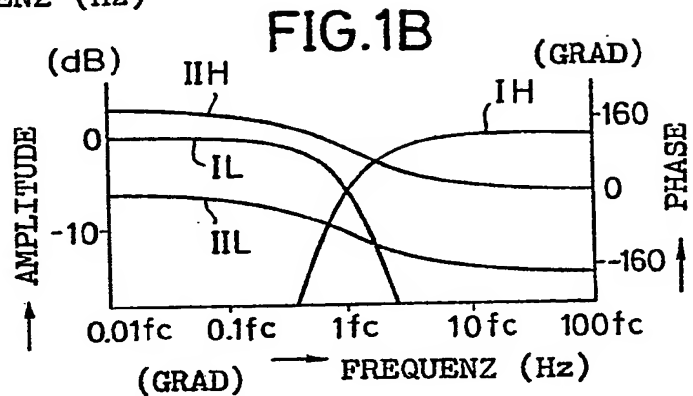
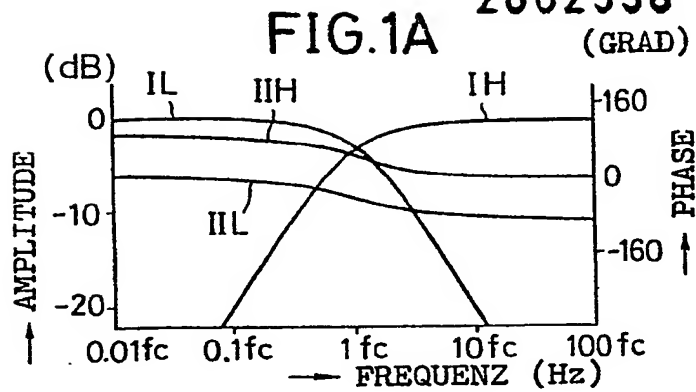
809830/0959

-53-

2802938
(GRAD)

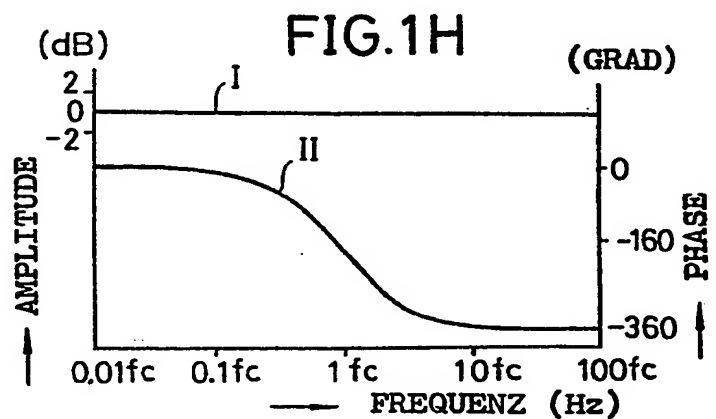
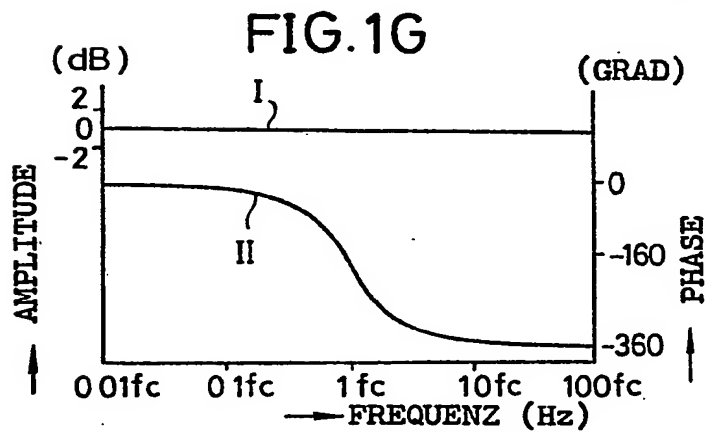
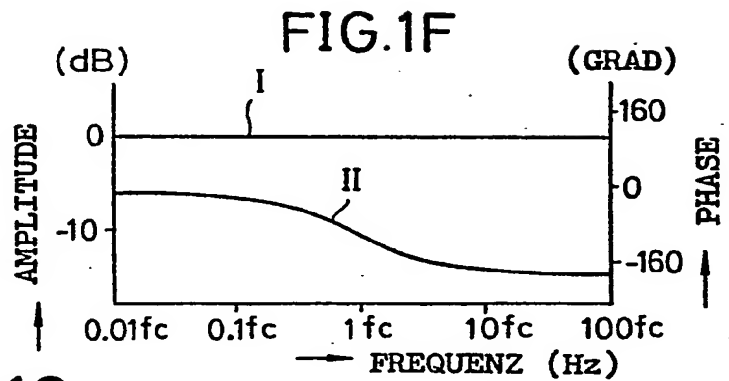
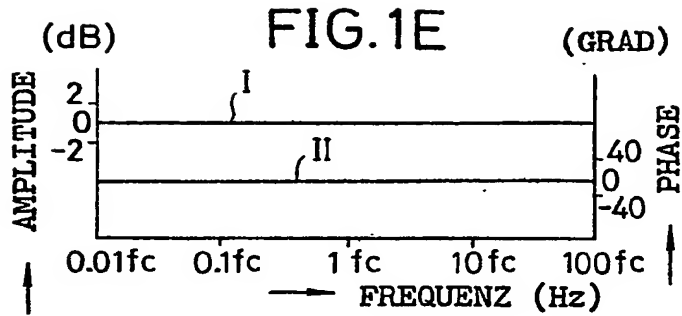
Number:
Int. Cl.2:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

28 02 938
H 03 H 7/46
24. Januar 1978
27. Juli 1978



809830/0959

Re 28 02 938



-44-
FIG. 2 STAND DER TECHNIK 2802938

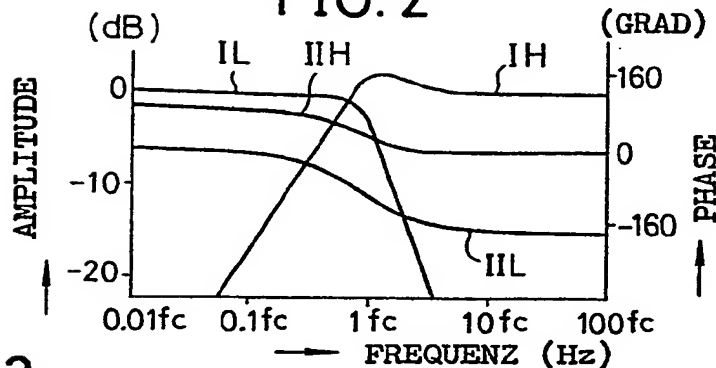


FIG. 3

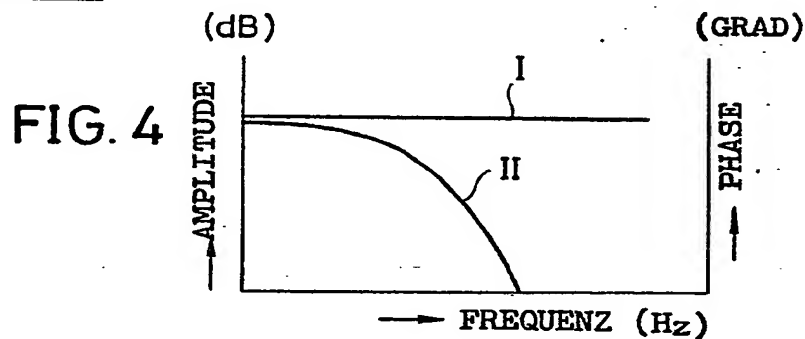
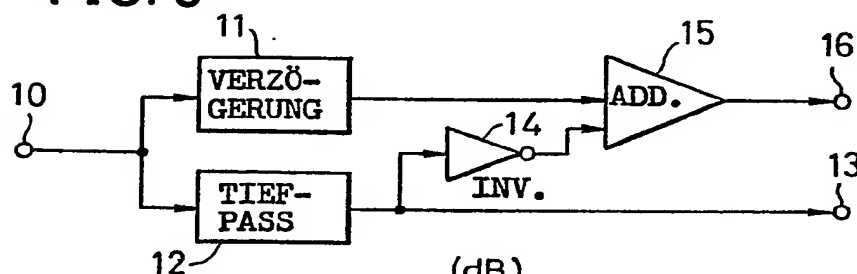
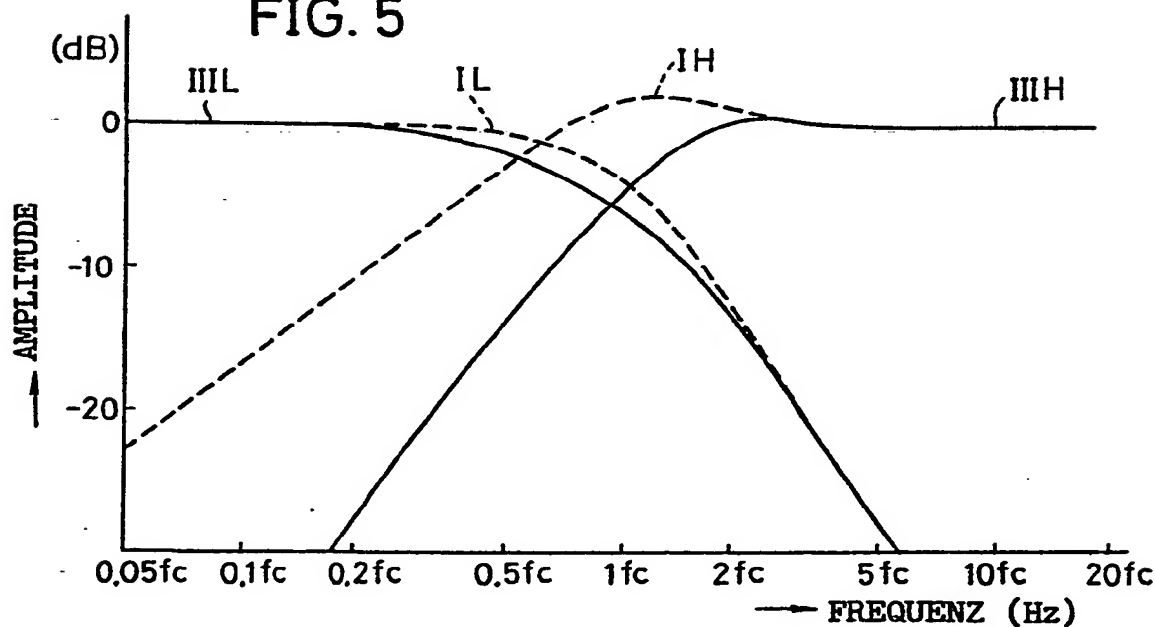


FIG. 5



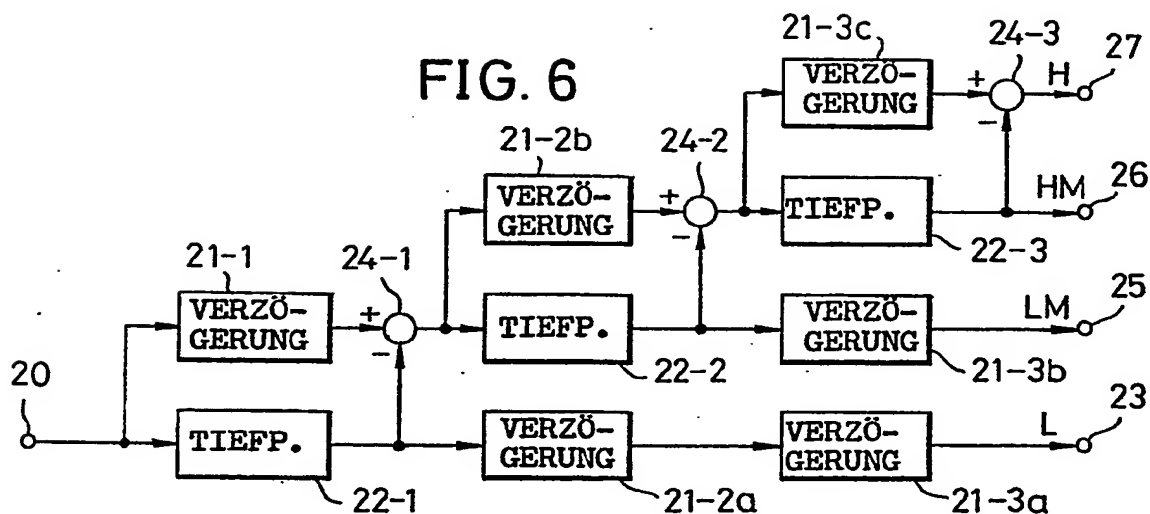


FIG. 7A

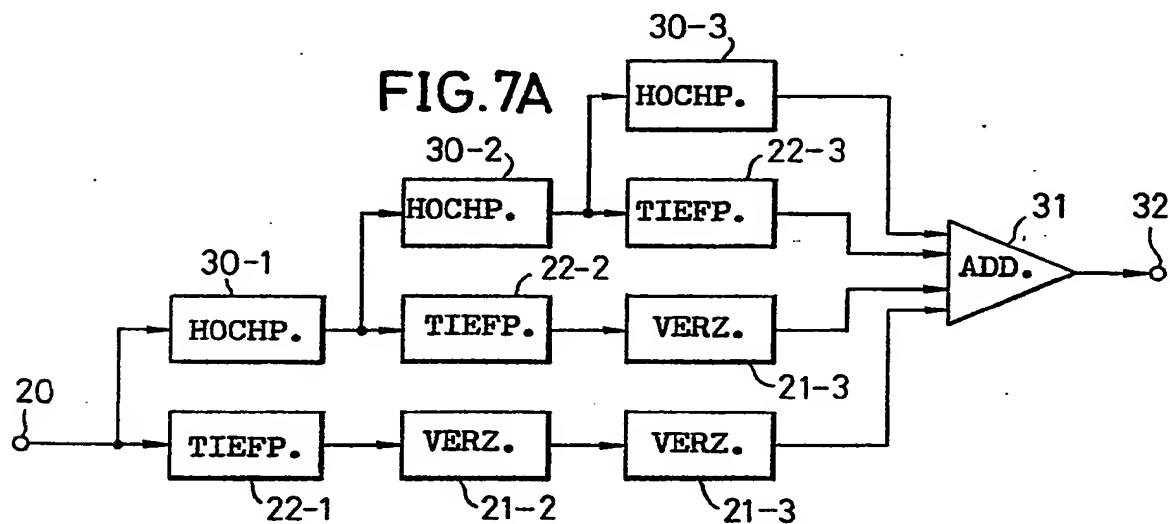
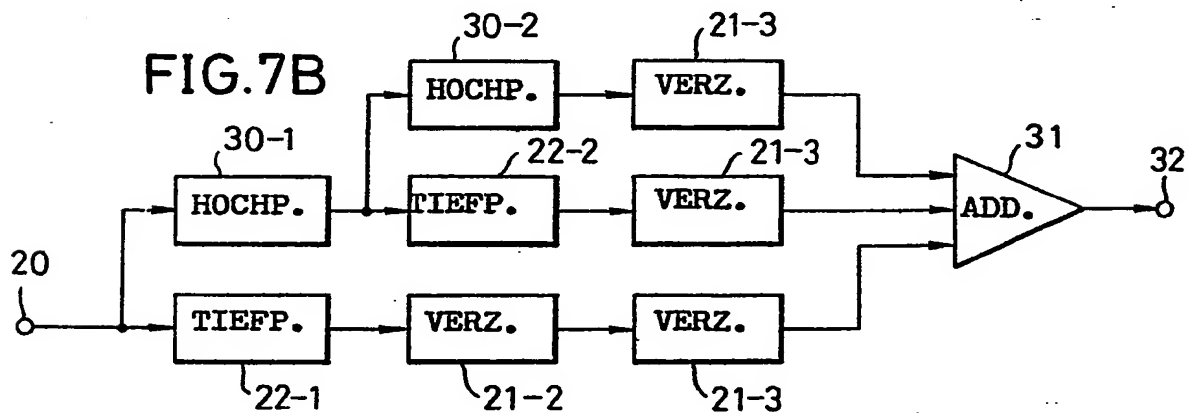
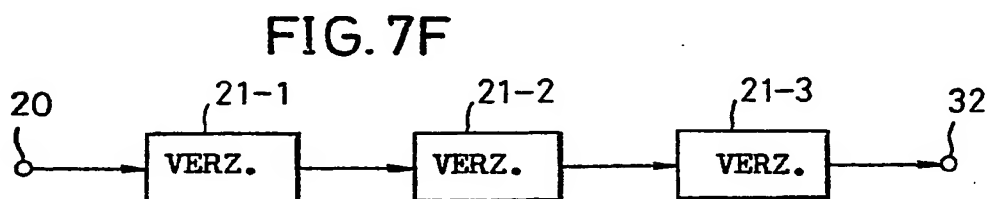
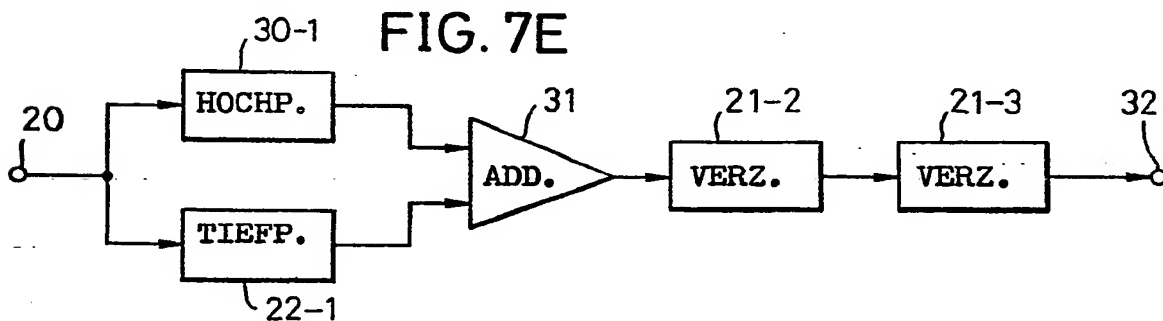
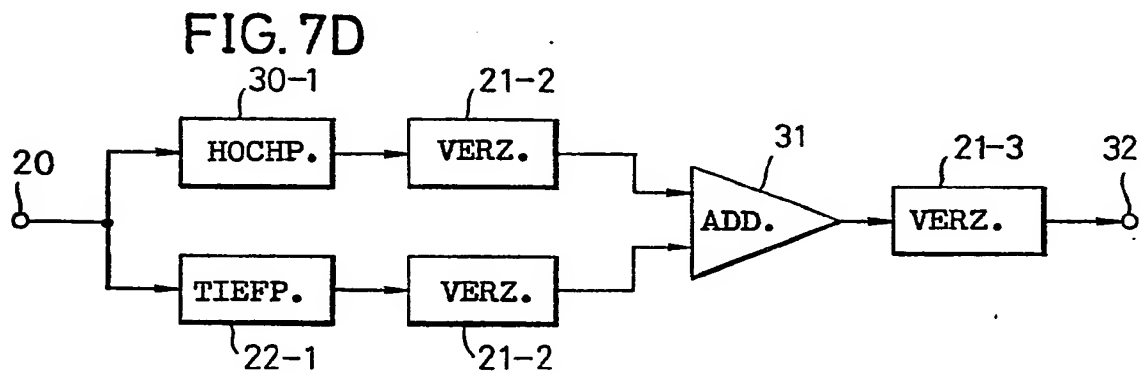
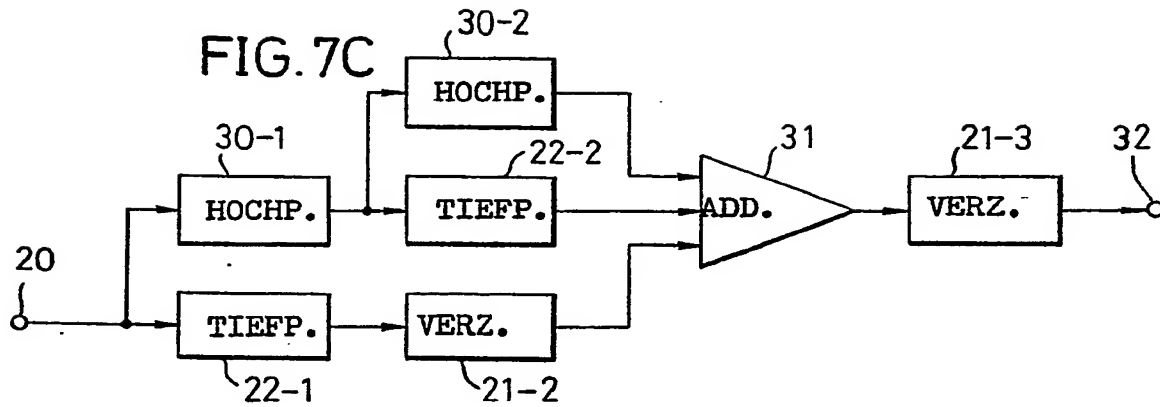


FIG.7B



809830 / 0959

De ref. A 938.1



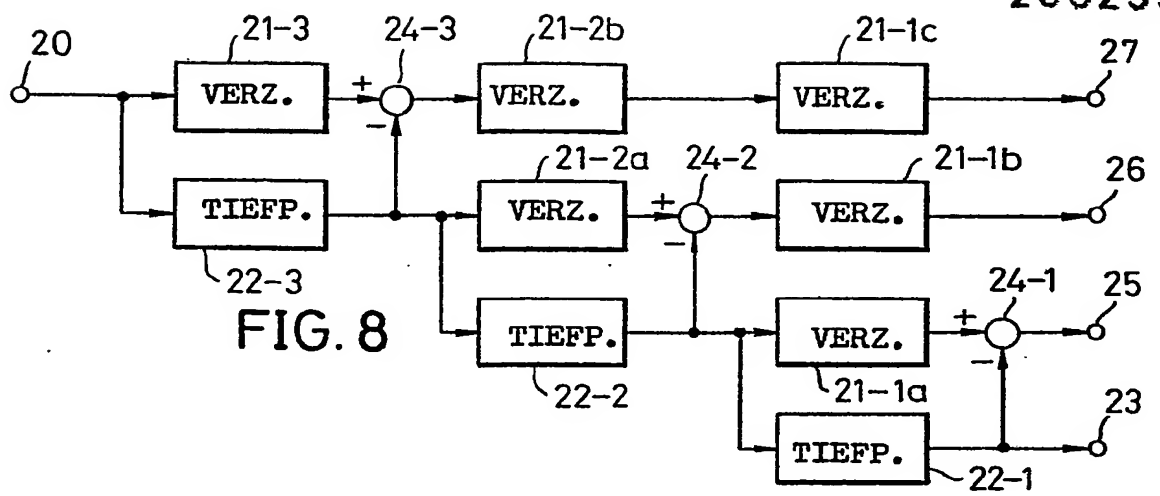


FIG. 8

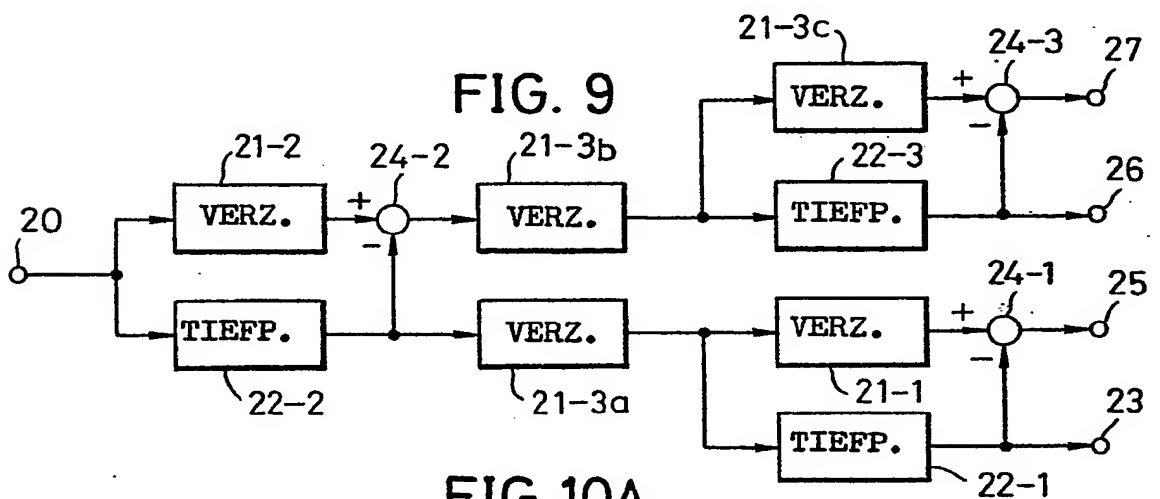


FIG. 9

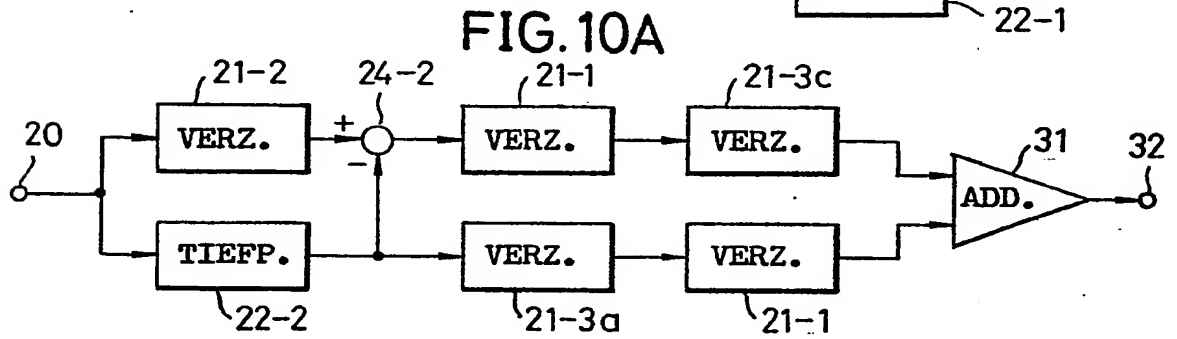


FIG. 10A

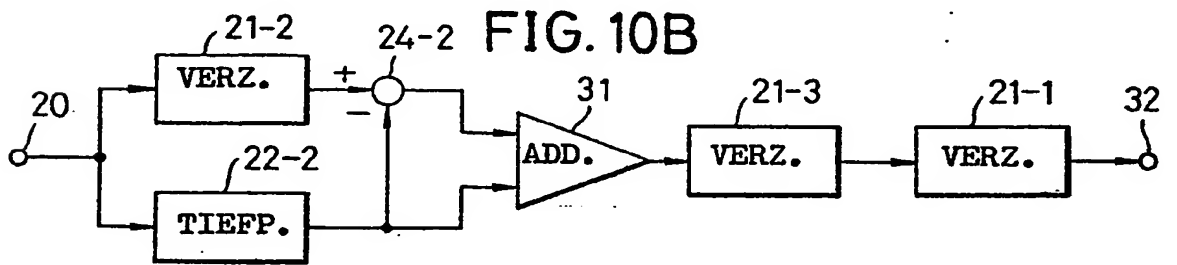


FIG. 10B

FIG.10C

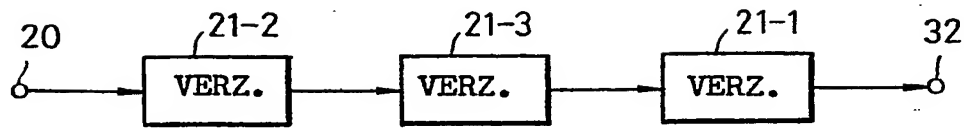


FIG.11

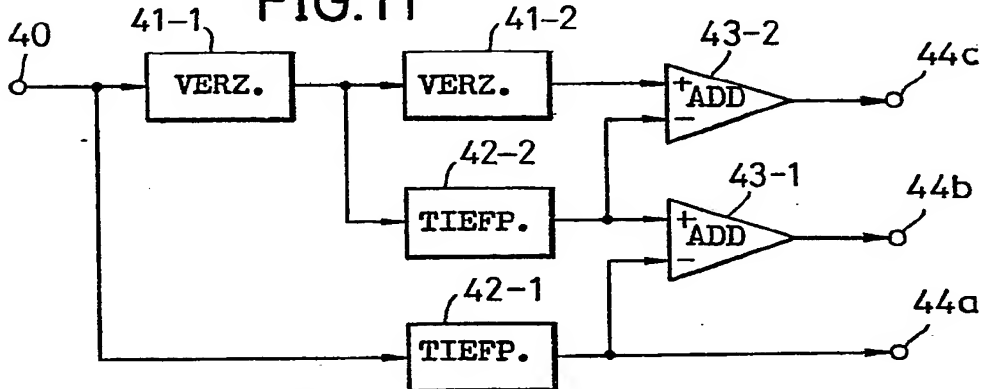


FIG.12

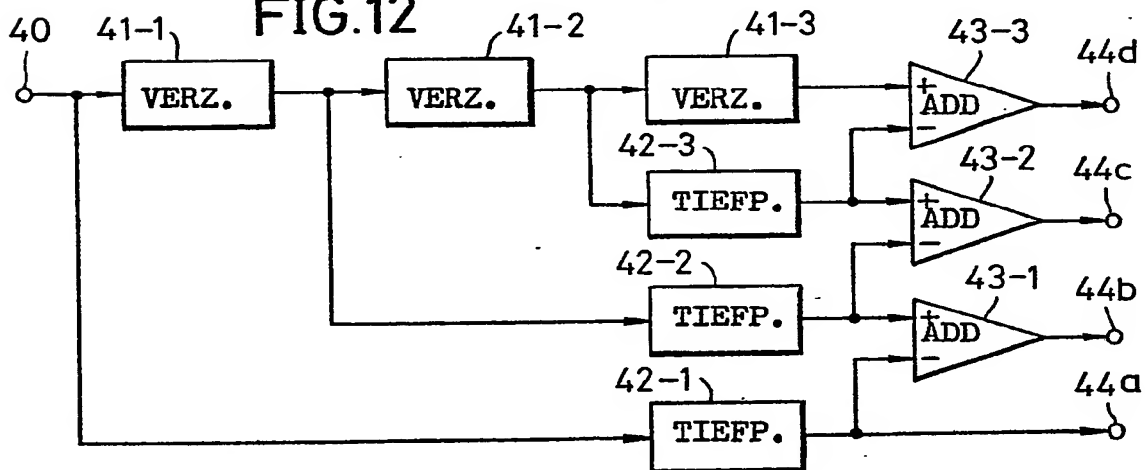
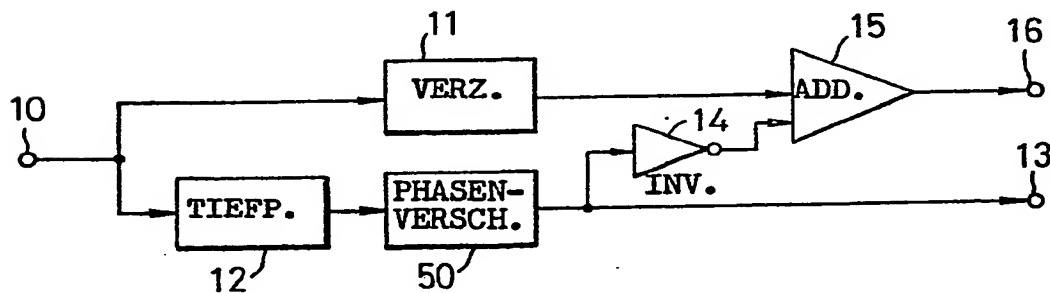


FIG.14



-49-

2802938

FIG.13

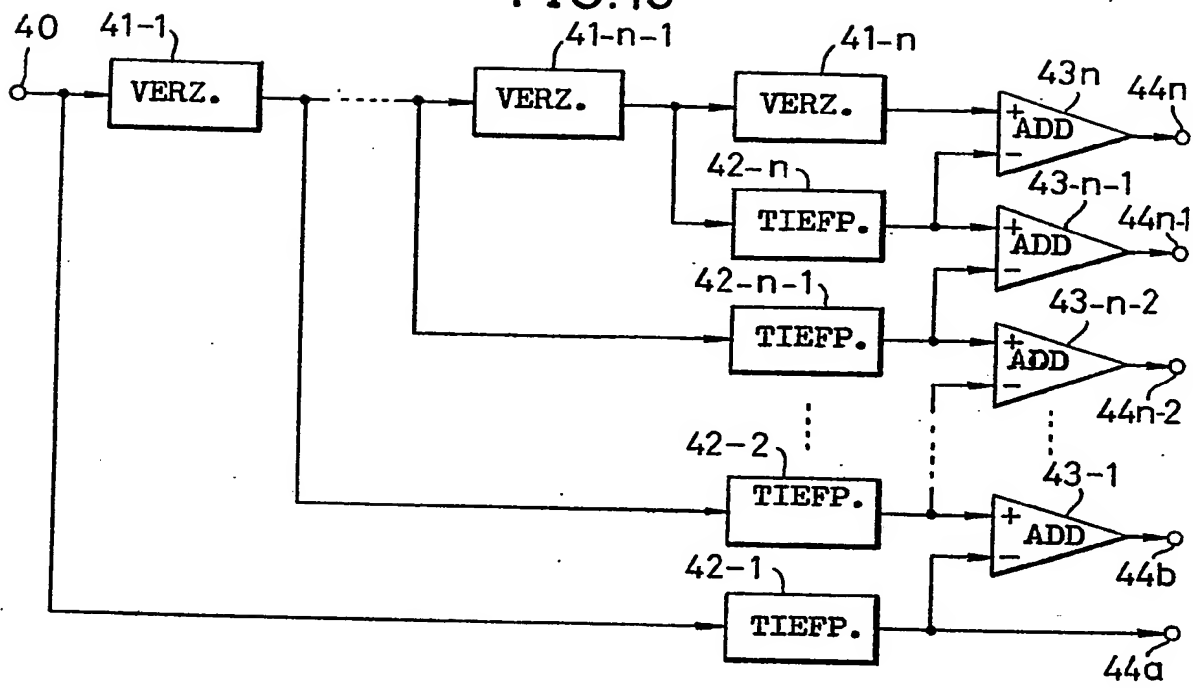
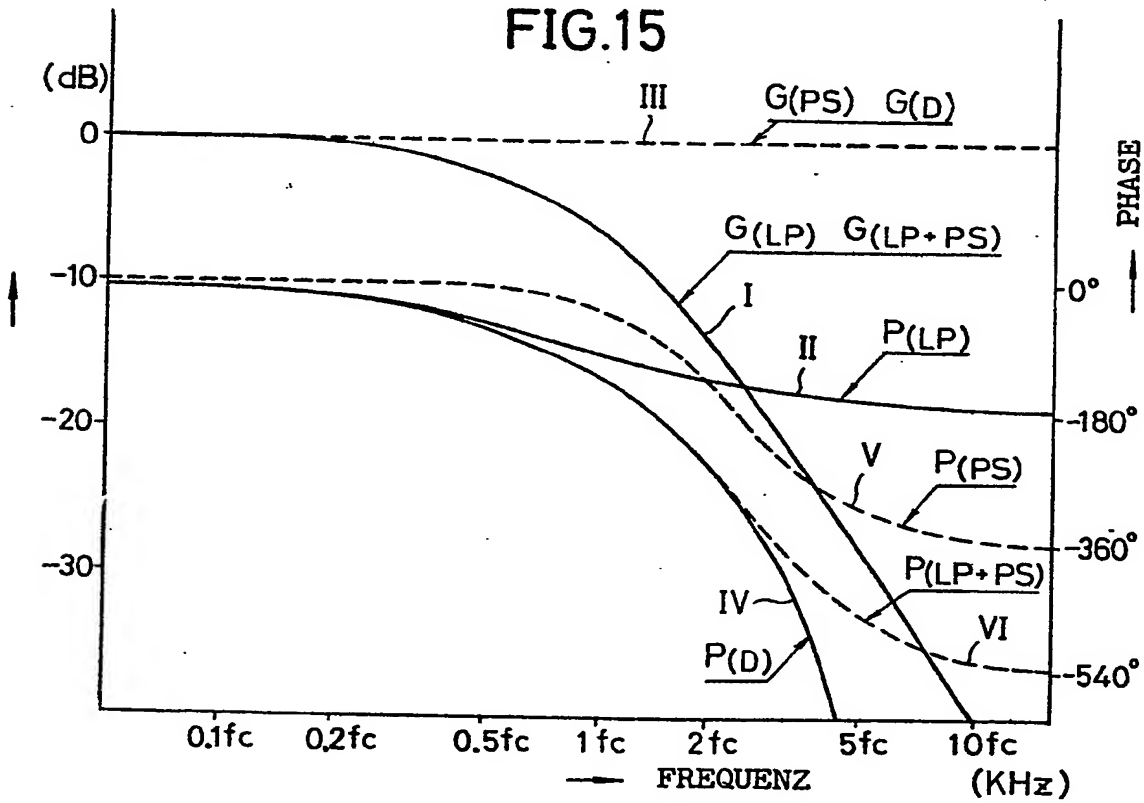


FIG.15



809830/0959

2802938.1

2802938

- 50 -

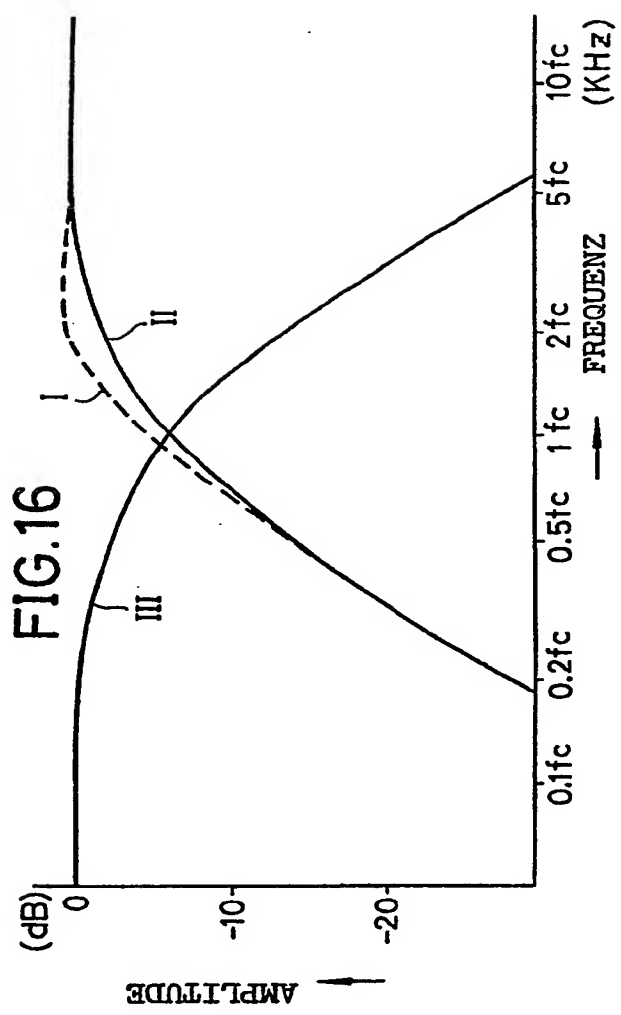
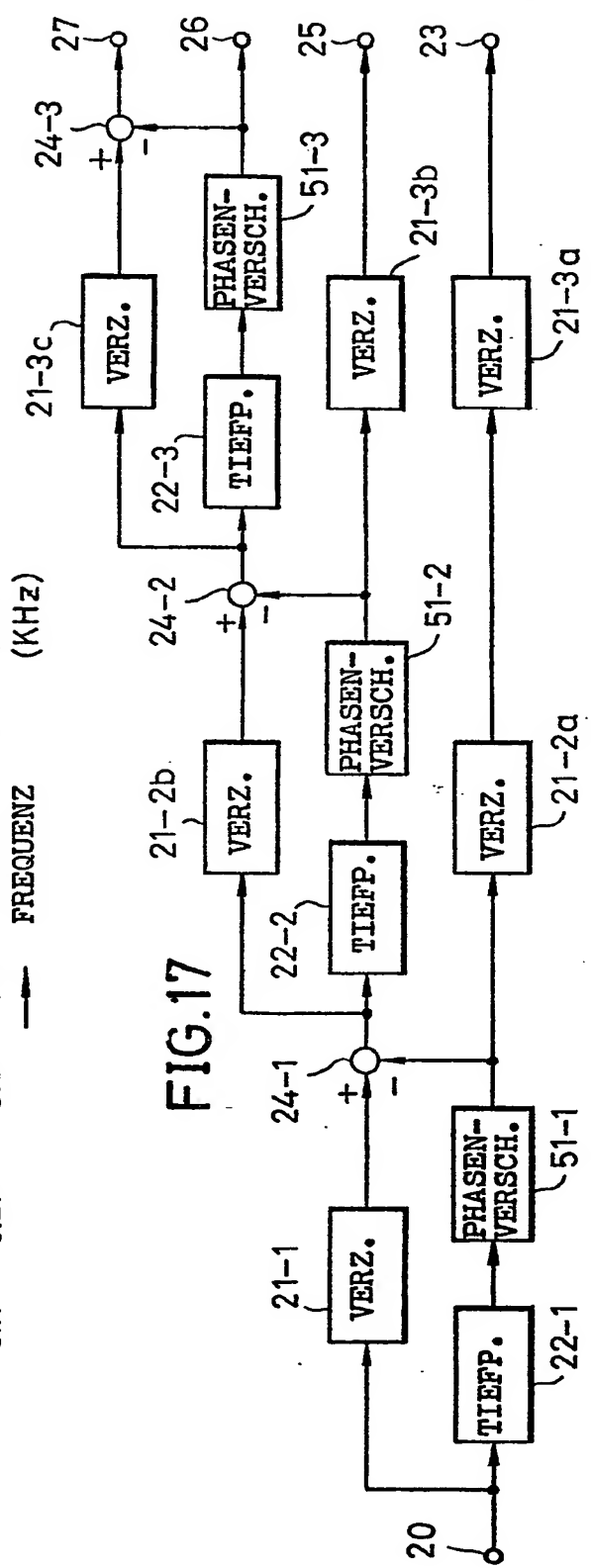


FIG. 17



809830/0959

FIG.18

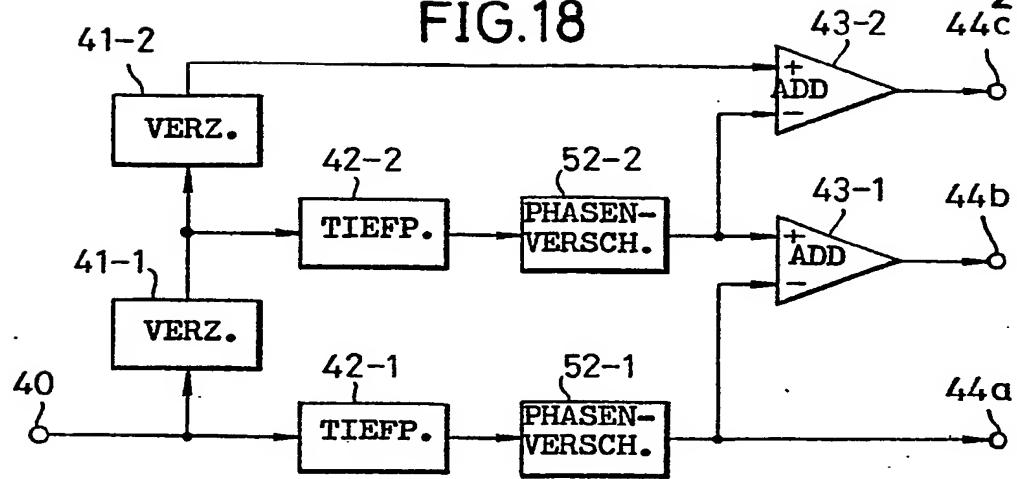


FIG.19

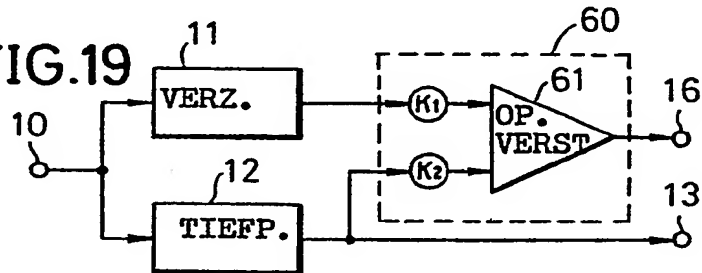


FIG.20A

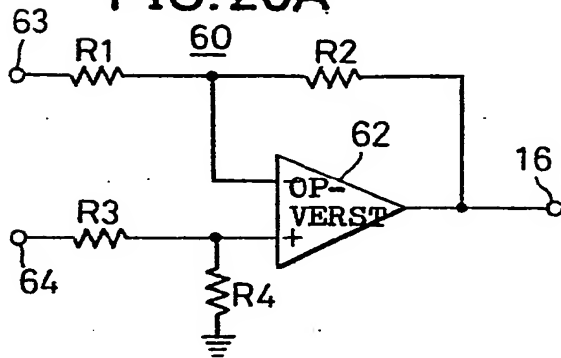


FIG.20B

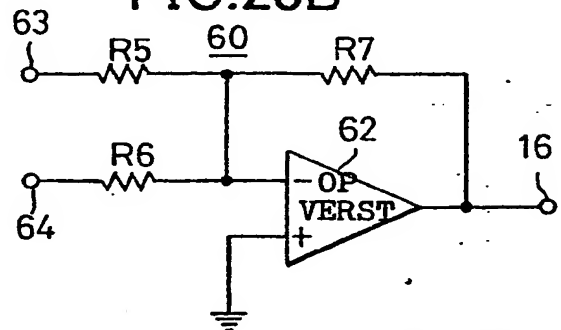


FIG. 21

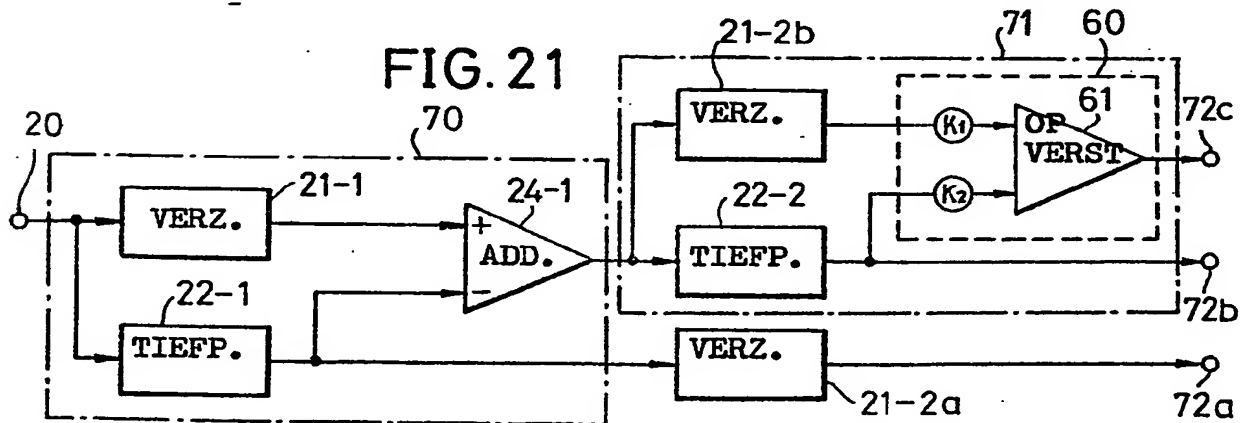


FIG. 22

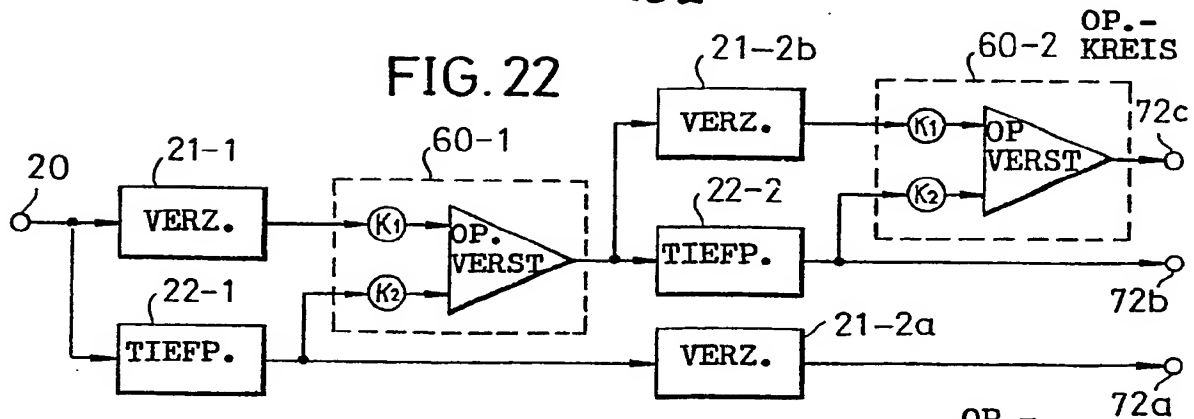


FIG. 23

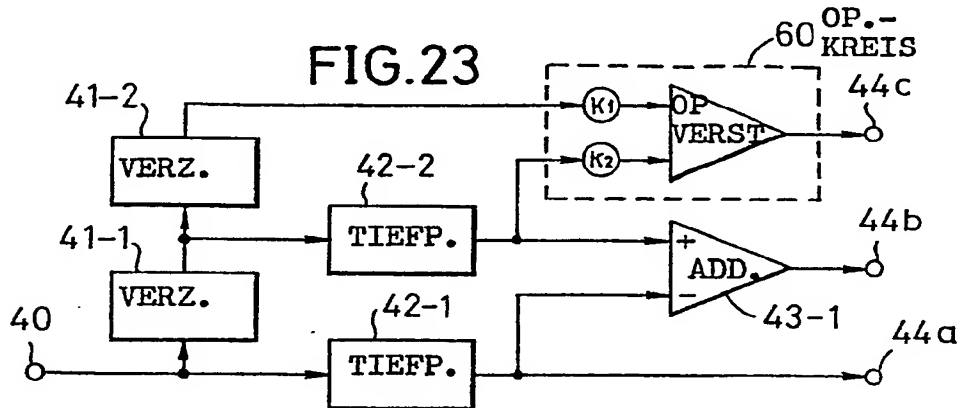


FIG. 24

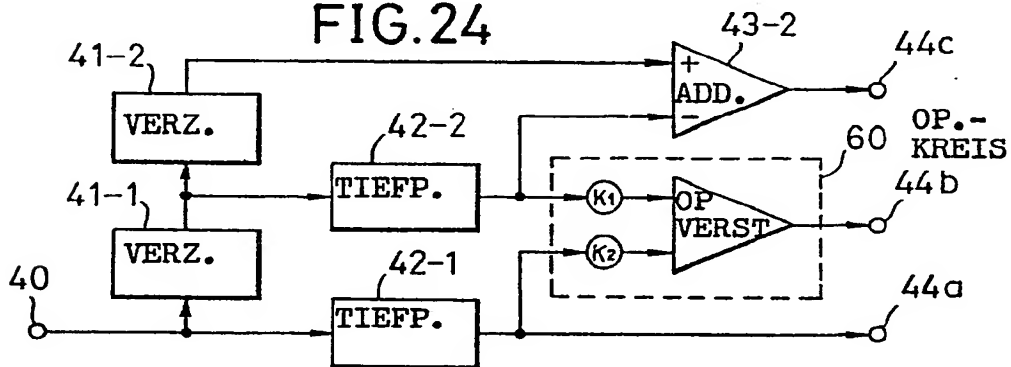
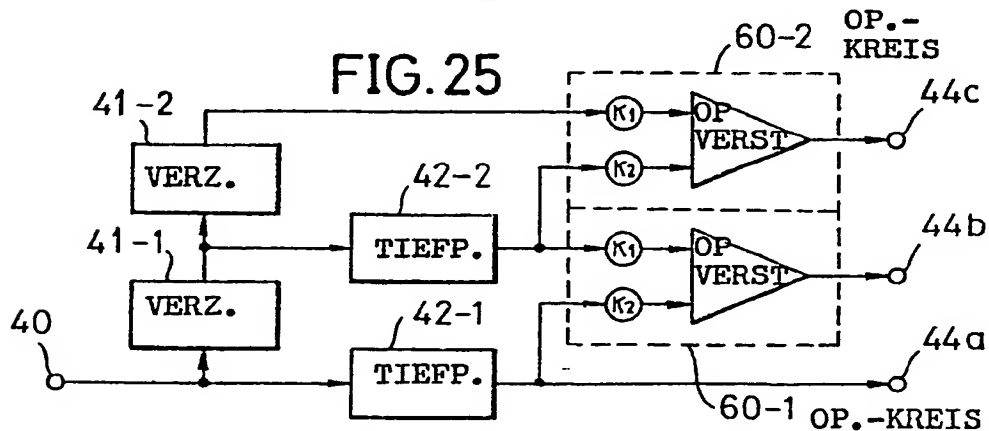


FIG. 25



-33-

2802938

(GRAD)

Nummer:

Int. Cl.2:

Anmeldetag:

Offenlegungstag:

28 02 938

H 03 H 7/48

24. Januar 1978

27. Juli 1978

FIG.1A

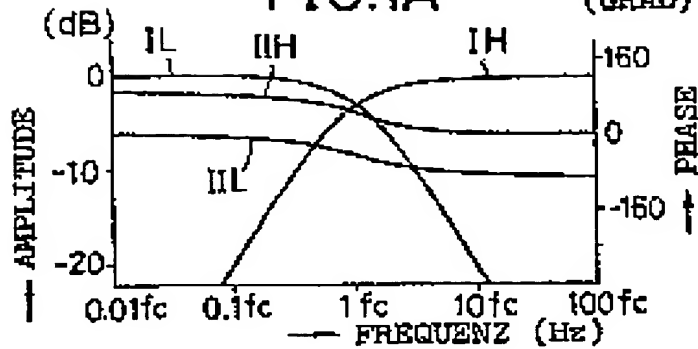


FIG.1B

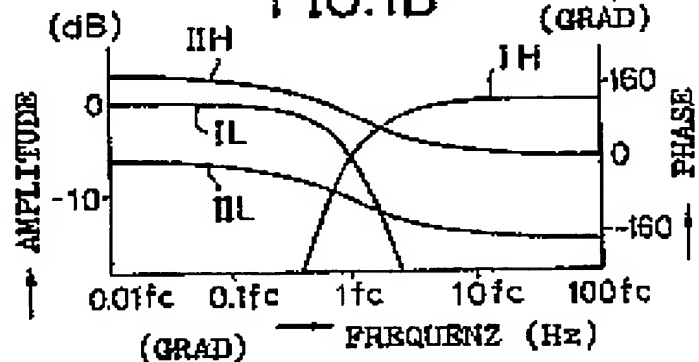


FIG.1C

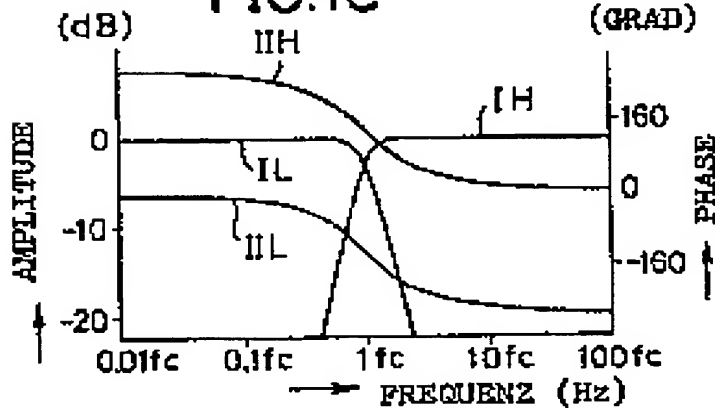
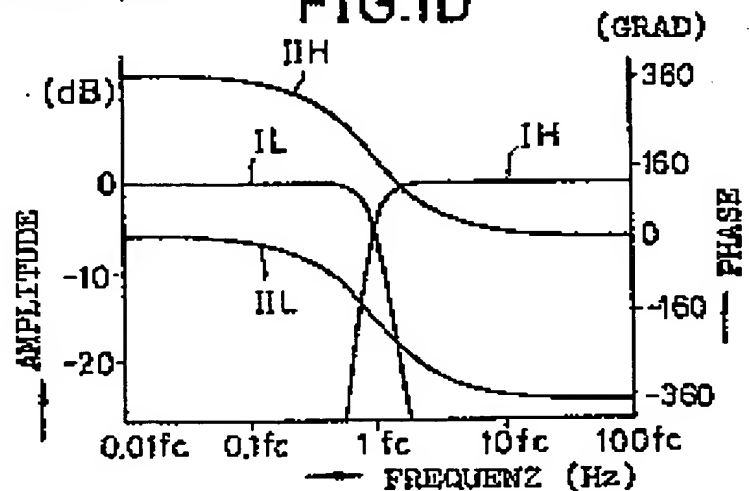
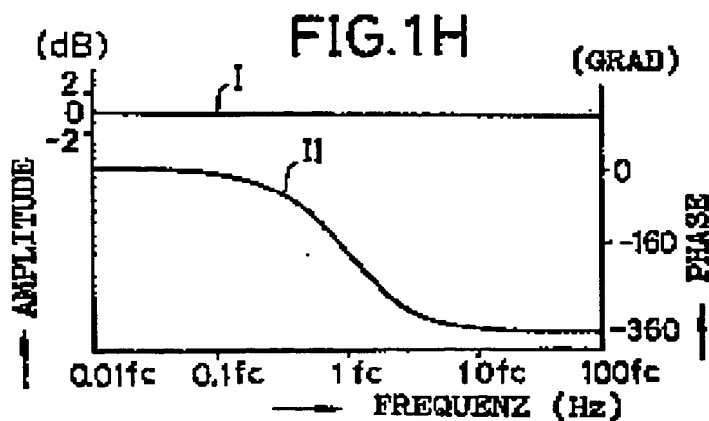
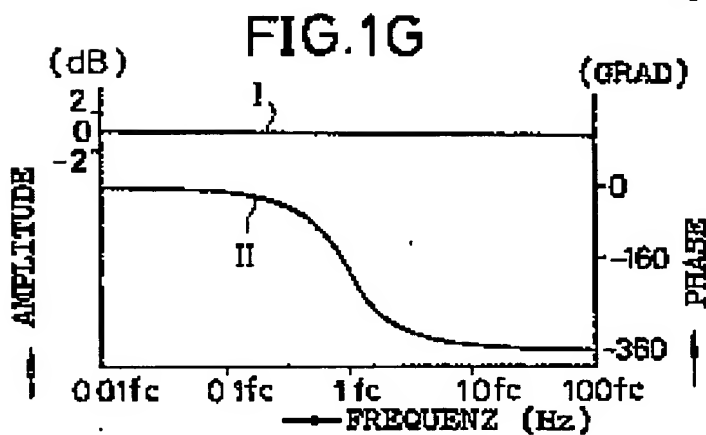
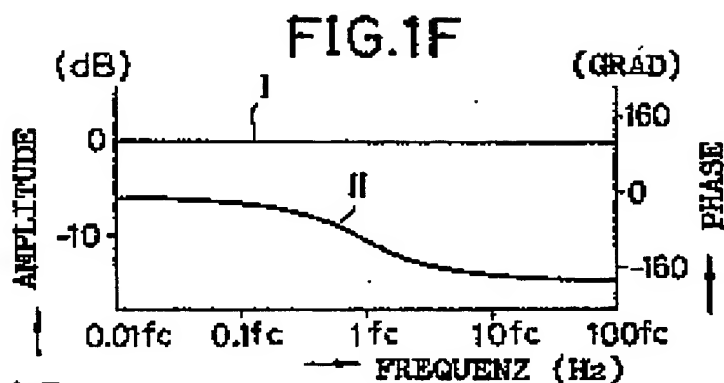
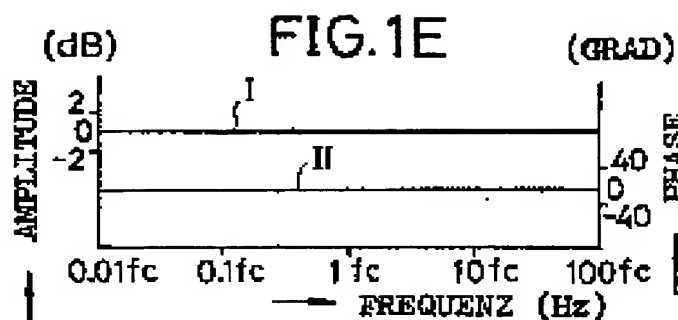


FIG.1D



#09830/0968

28 02 938



- 44 -

FIG. 2

STAND DER TECHNIK 2802938

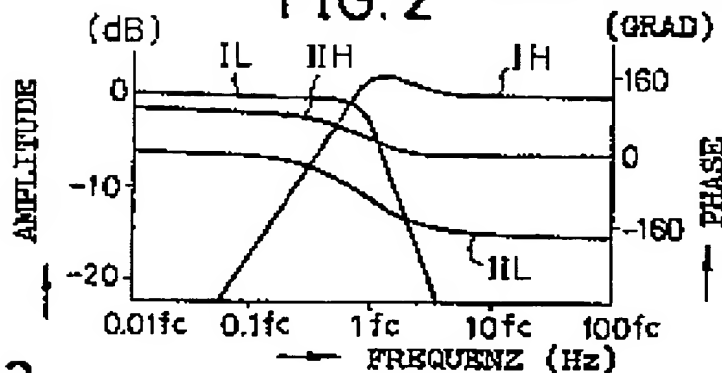


FIG. 3

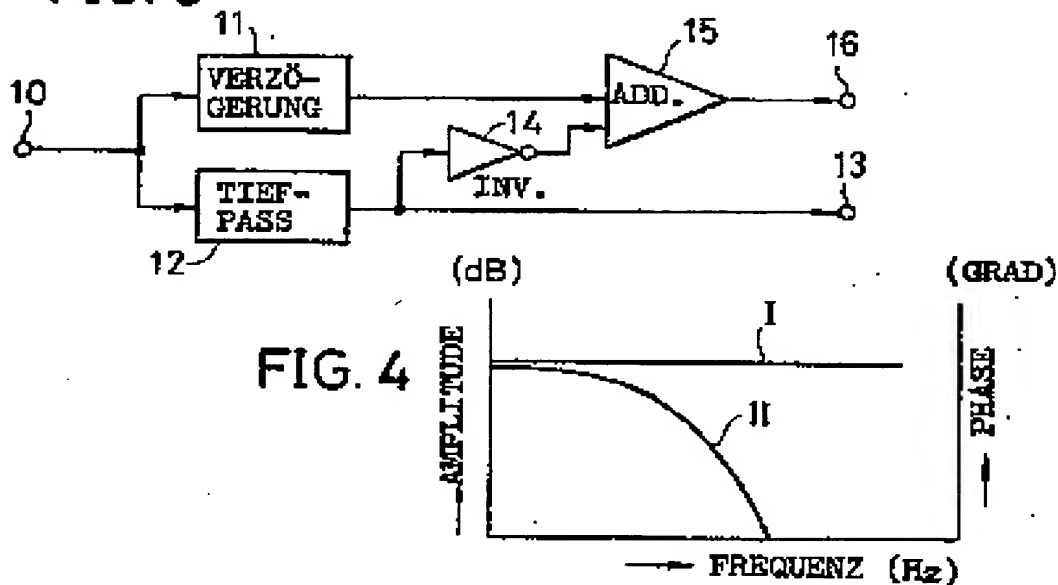
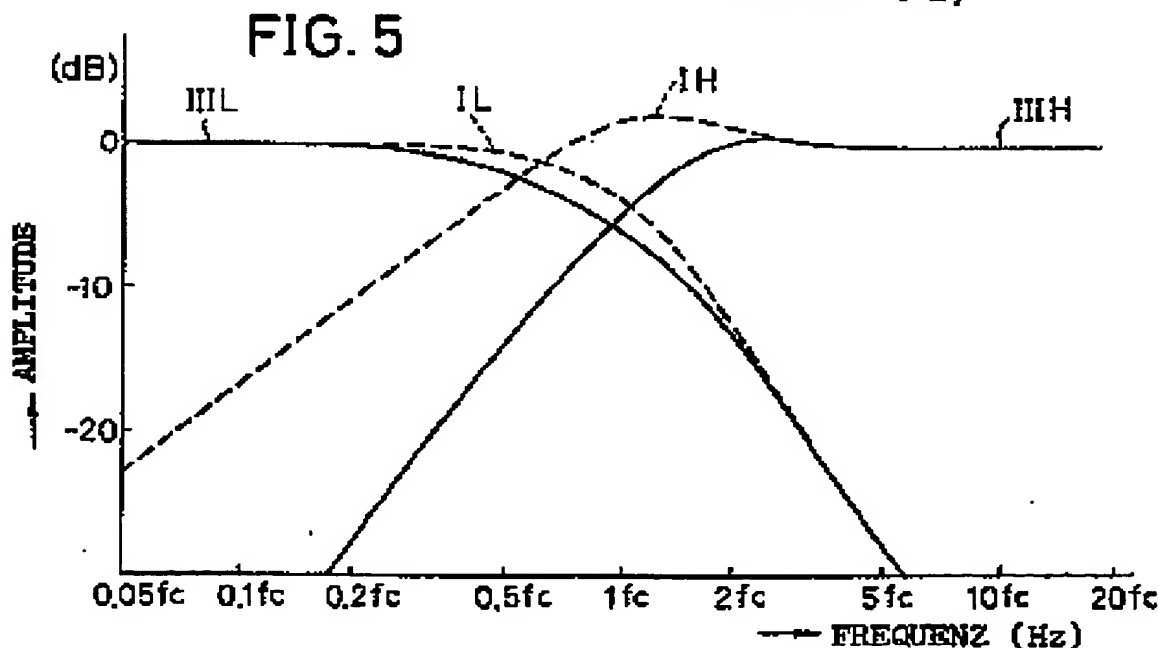


FIG. 4



809830/0958

Re 28 02 923.1

FIG. 6

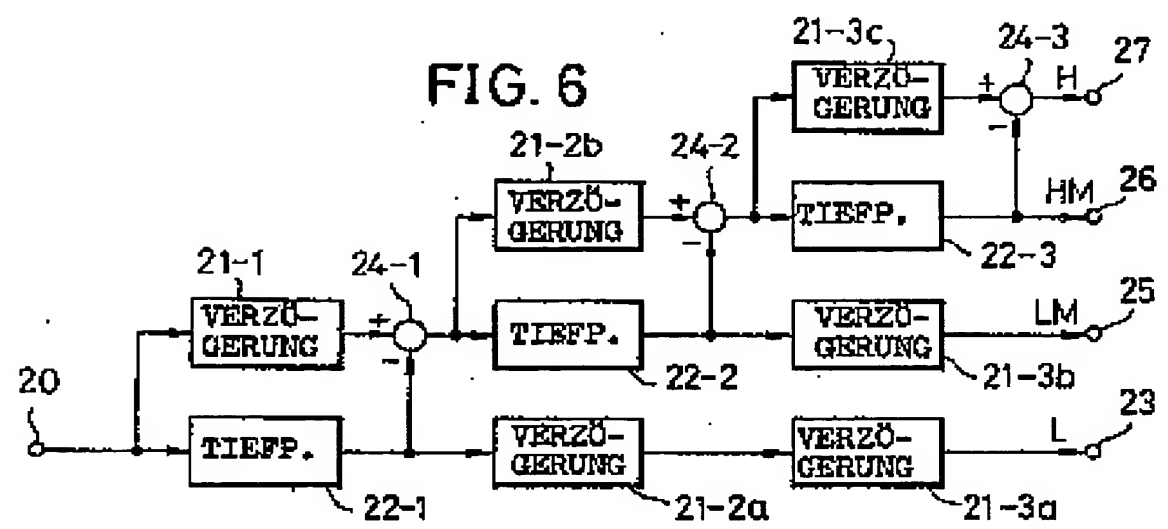


FIG. 7A

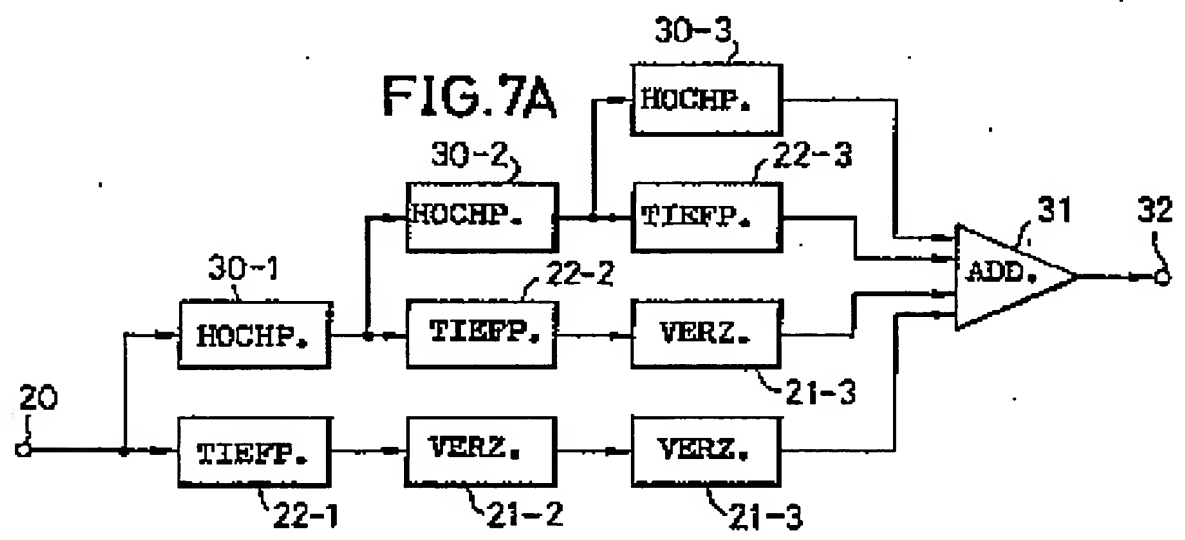
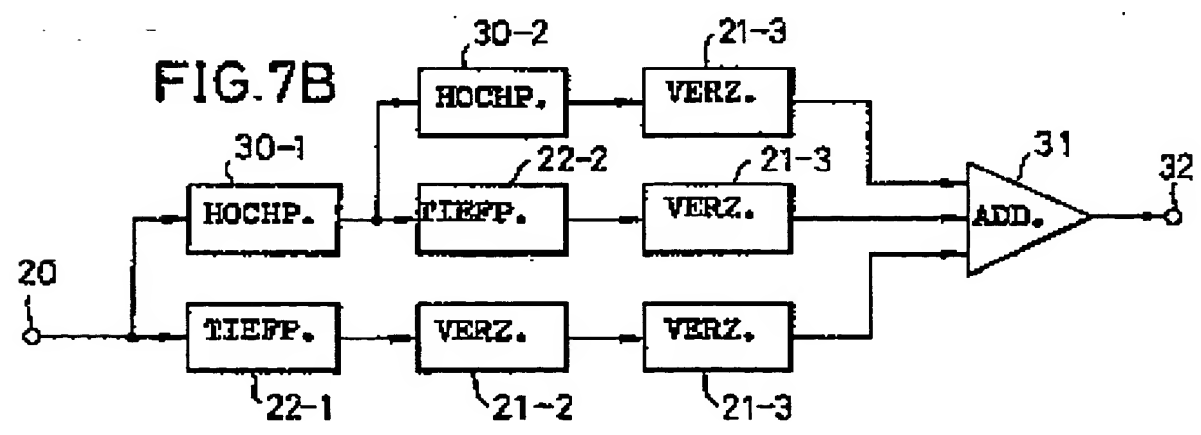
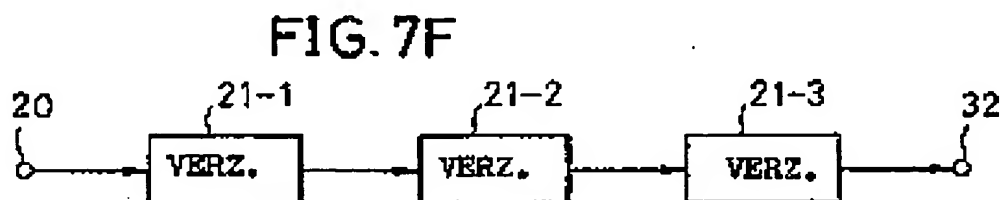
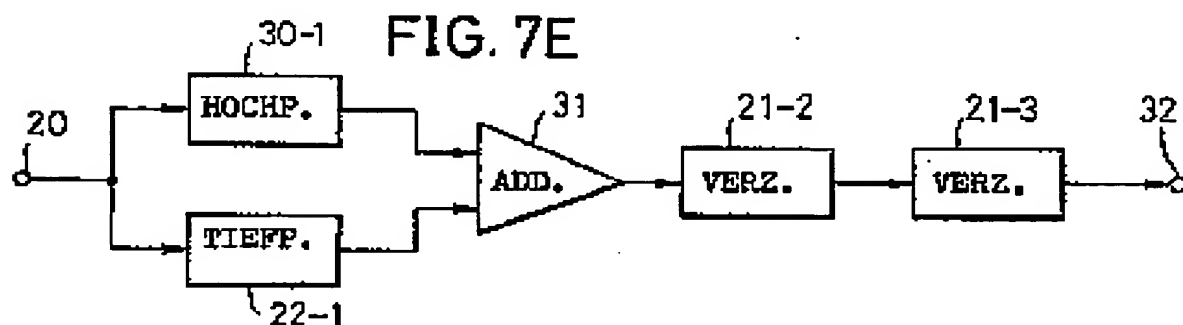
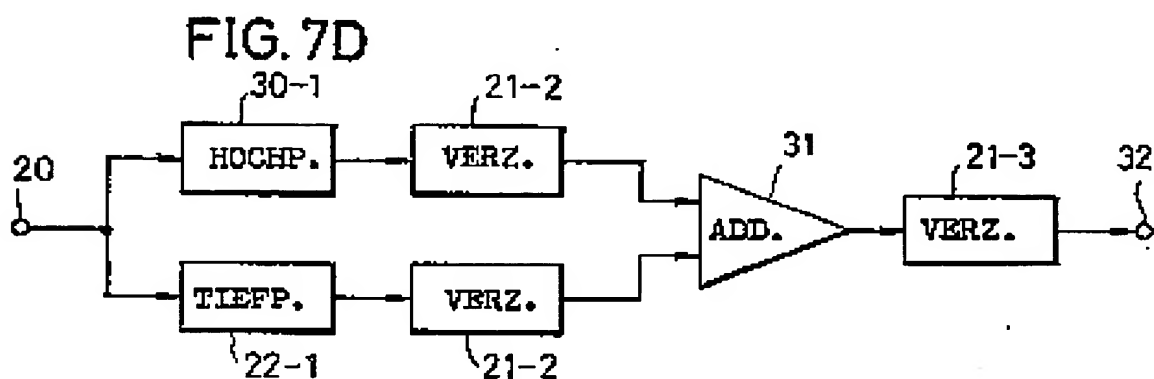
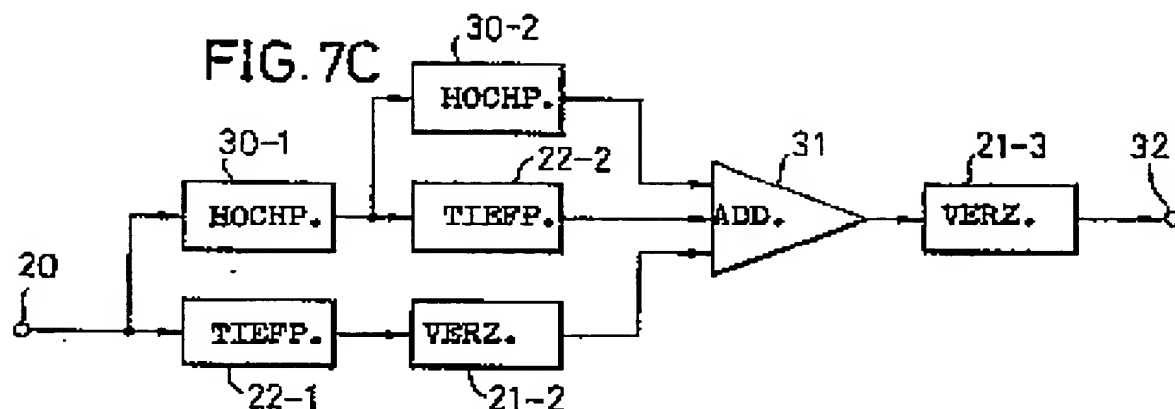


FIG. 7B





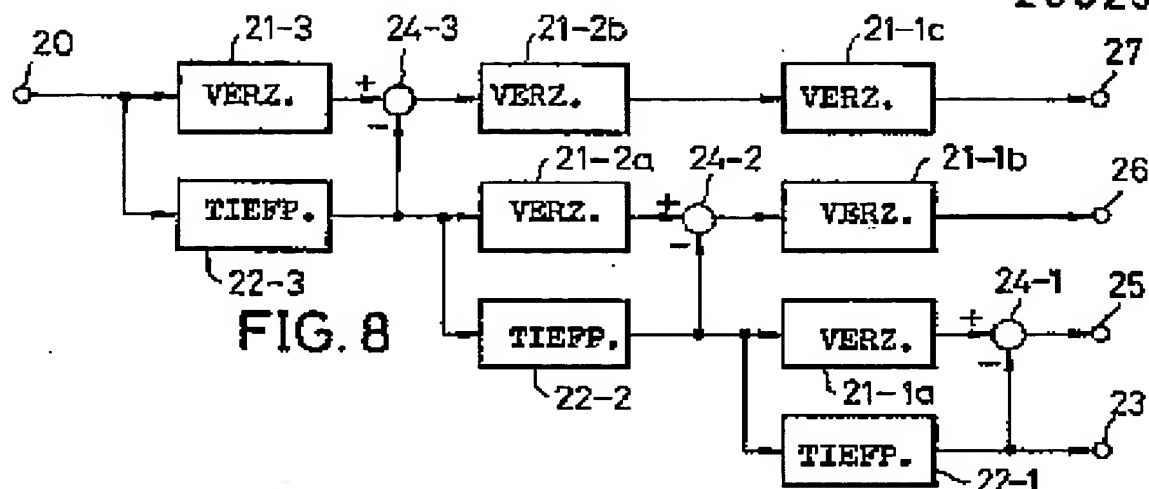


FIG. 8

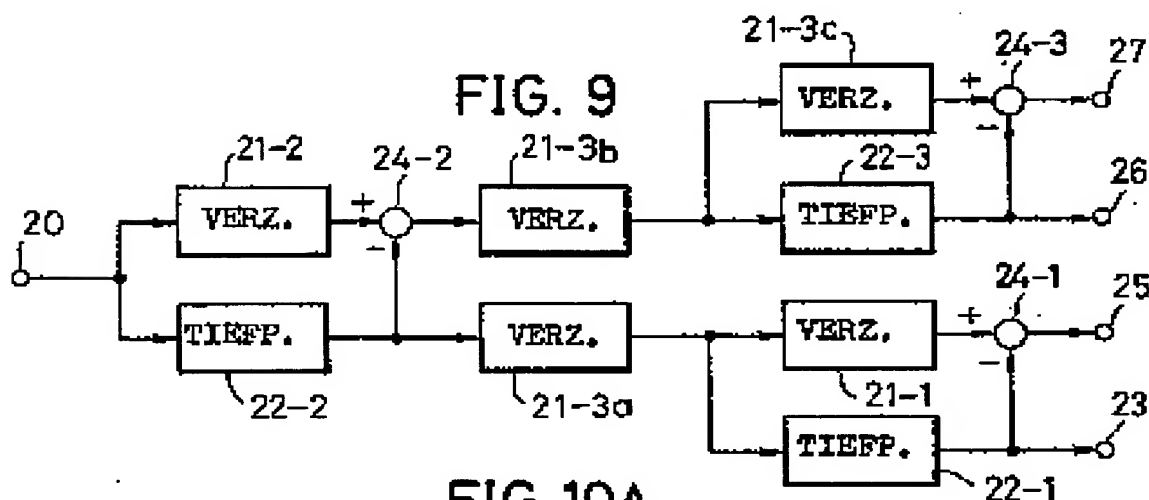


FIG. 9

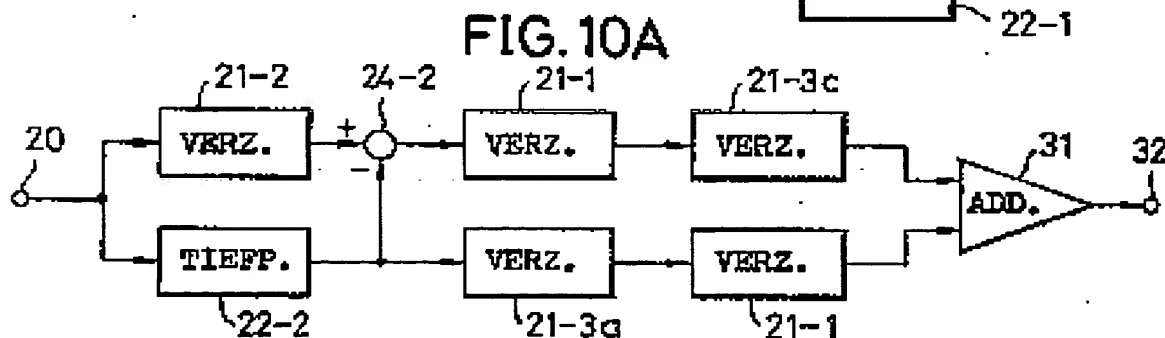


FIG. 10A

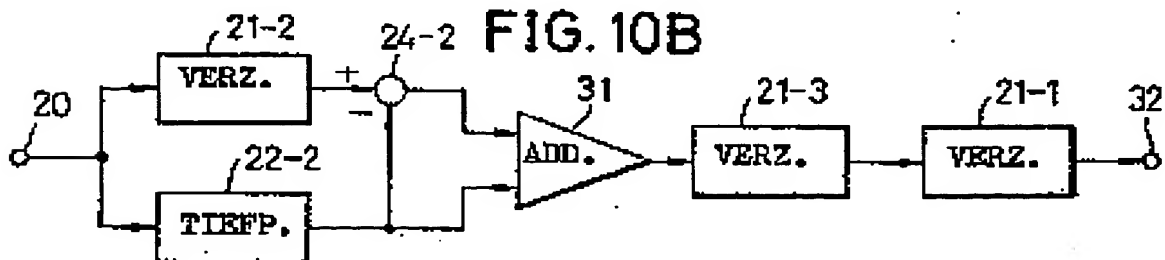


FIG. 10B

FIG.10C

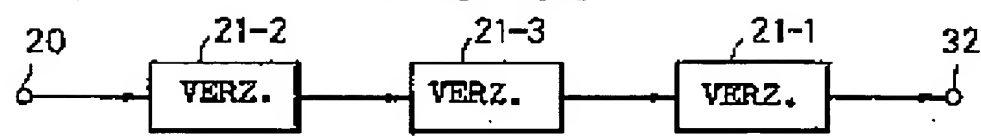


FIG.11

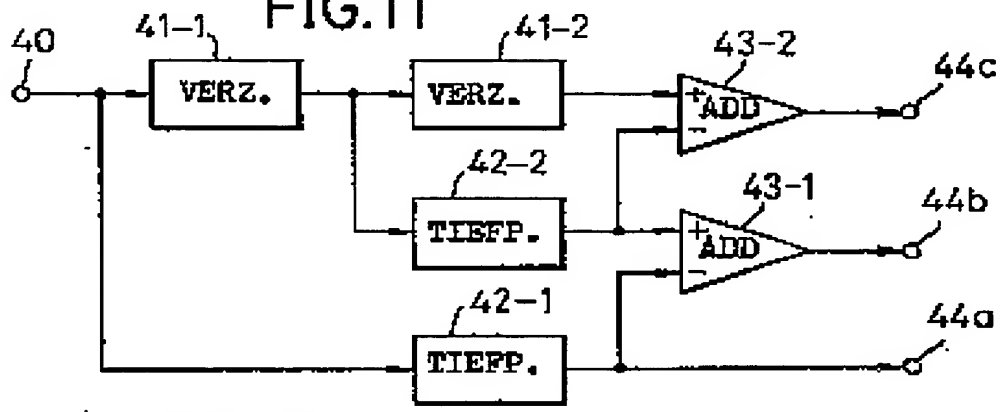


FIG.12

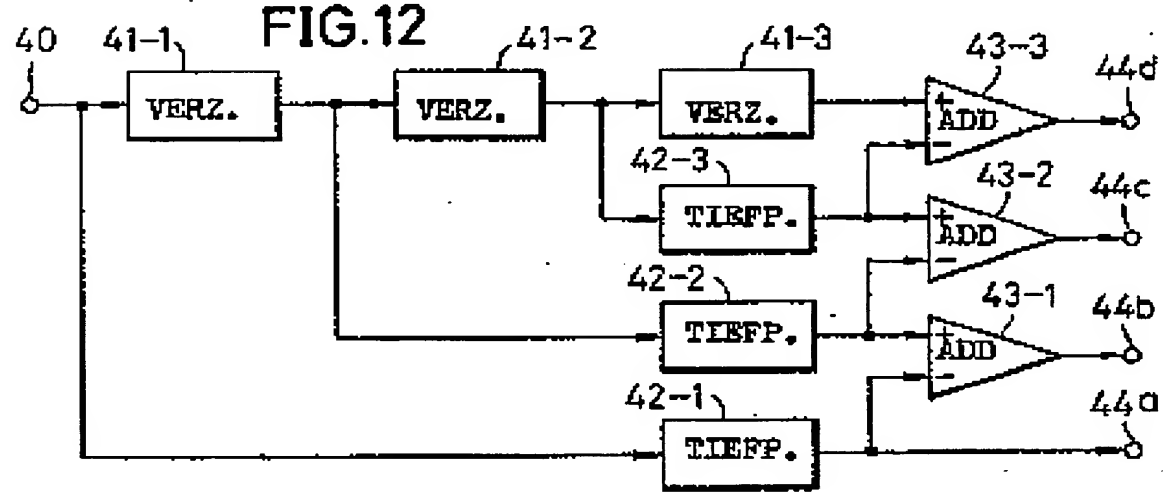


FIG.14

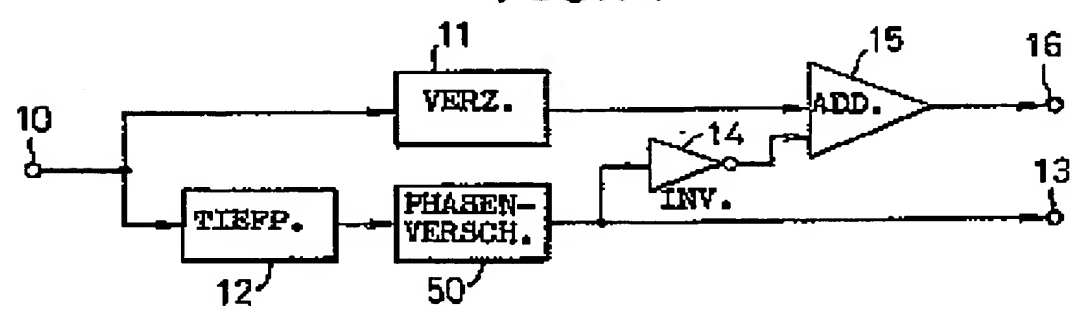


FIG.13

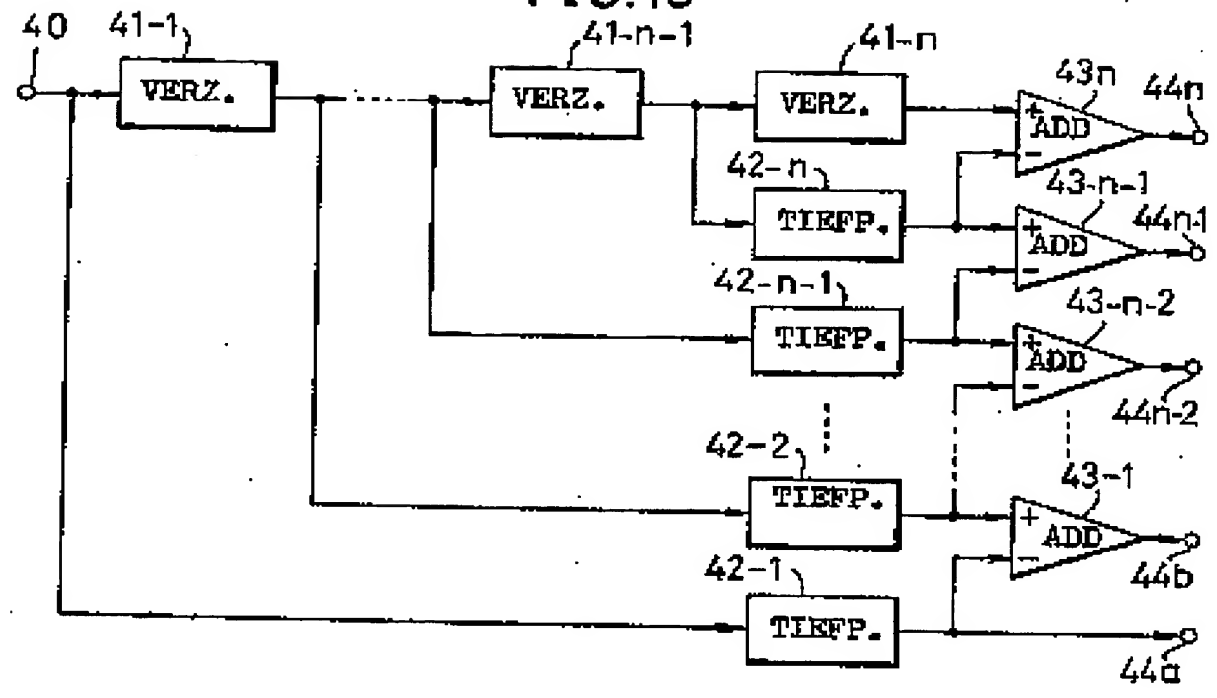
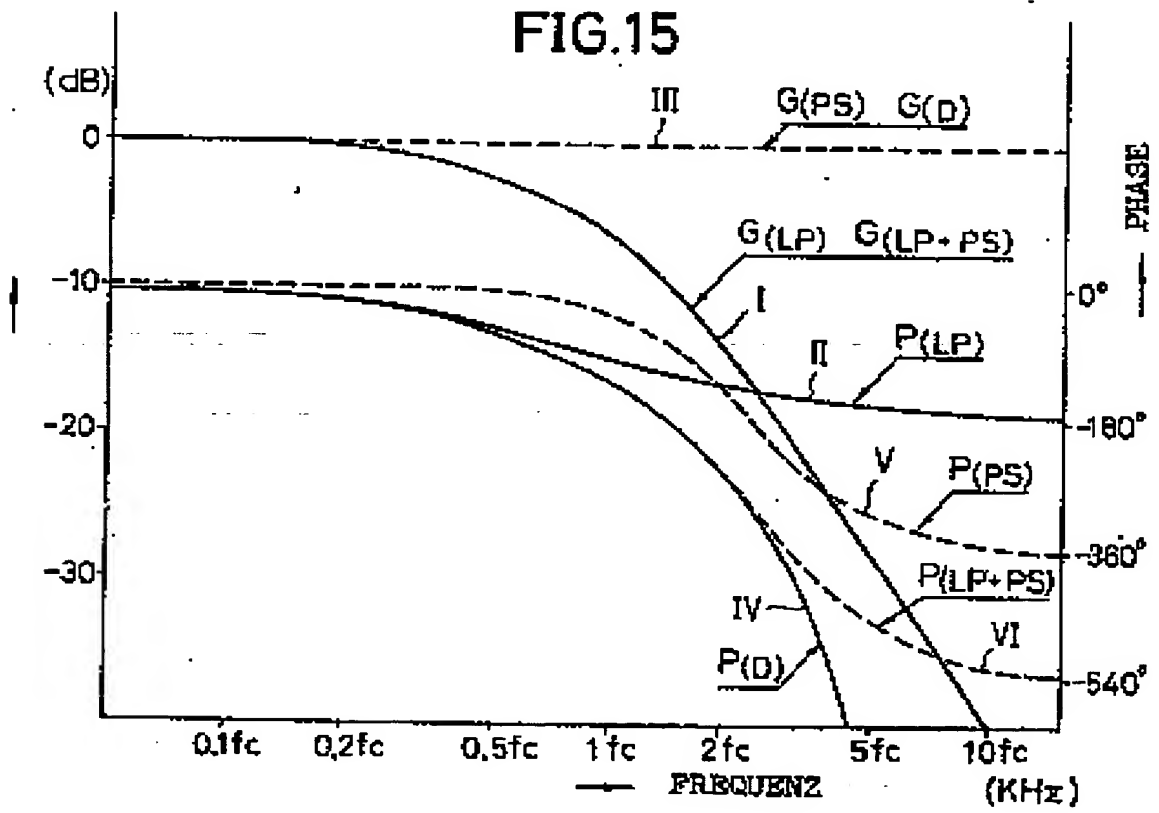


FIG.15



809830/0958

2700 93P.1

2802938

- 57 -

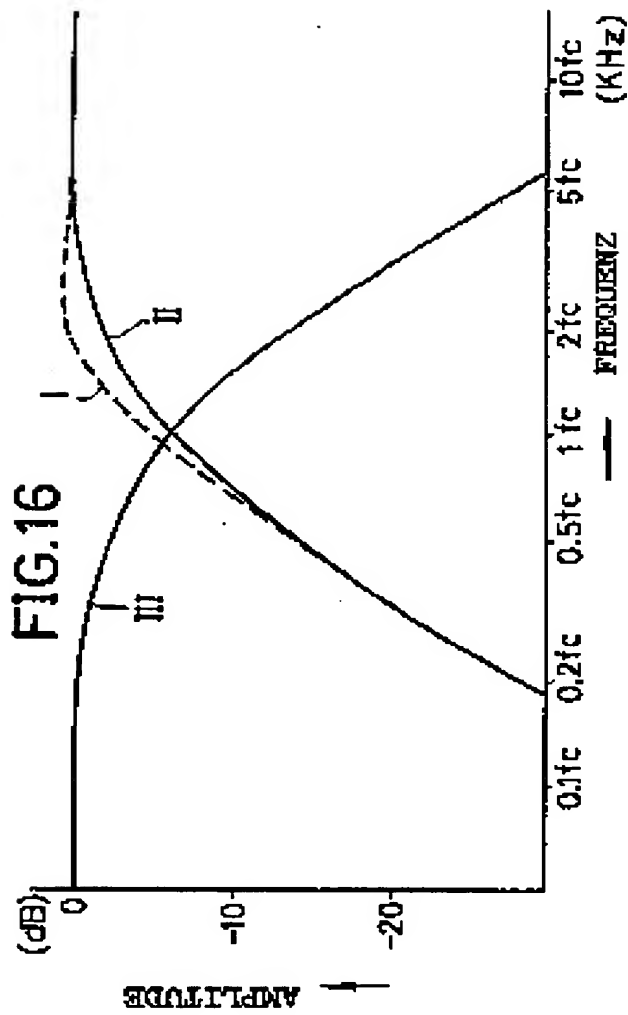
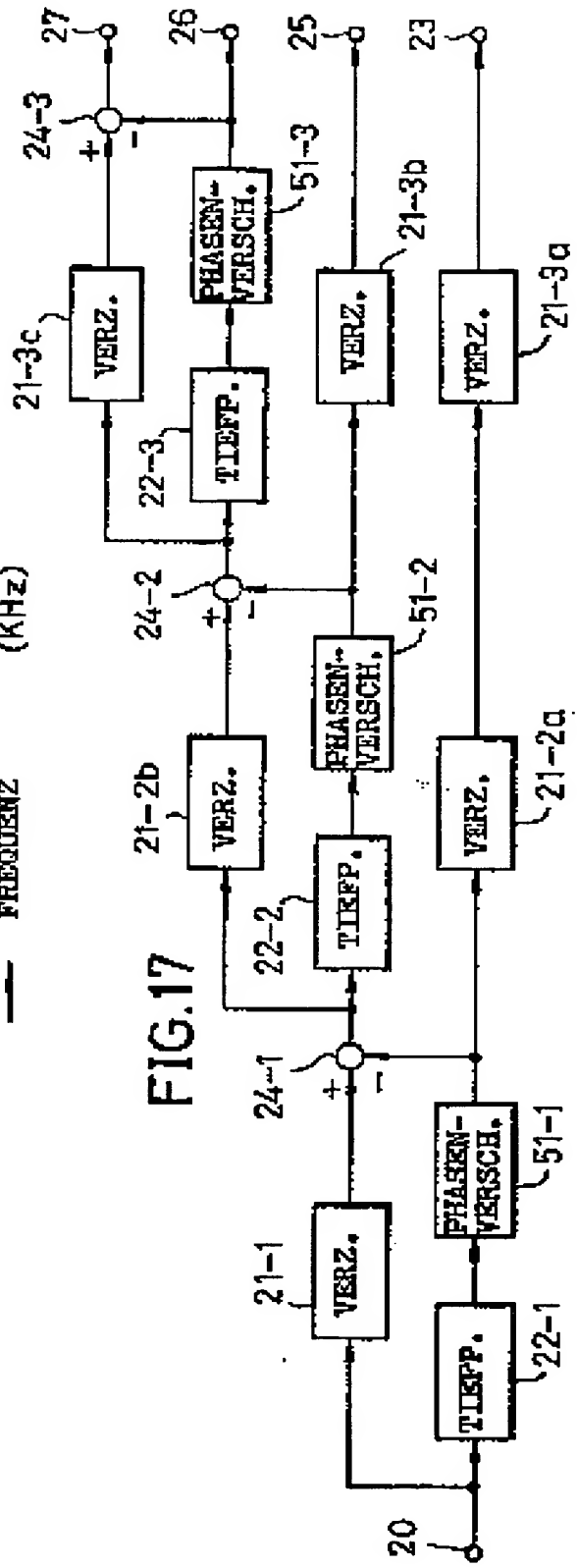


FIG.17



808830/0838

FIG.18

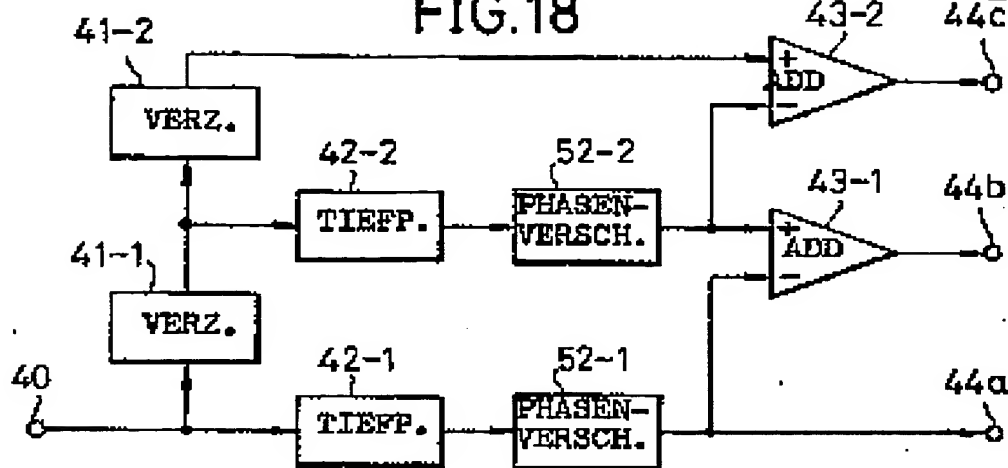


FIG.19

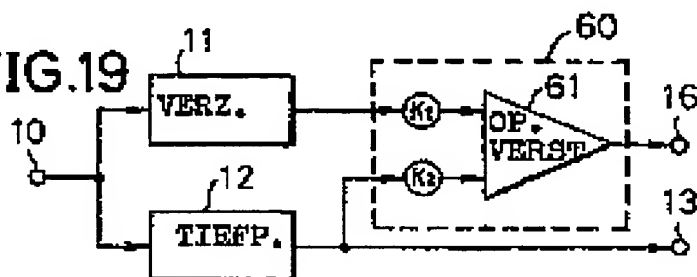


FIG.20A

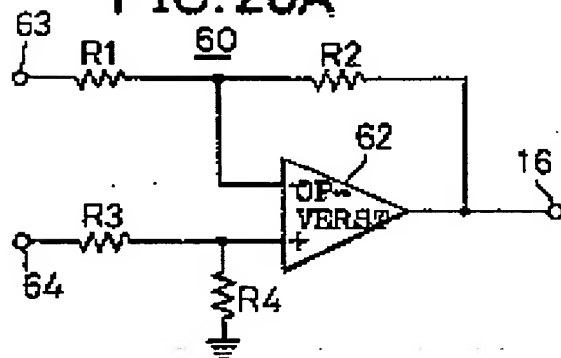


FIG.20B

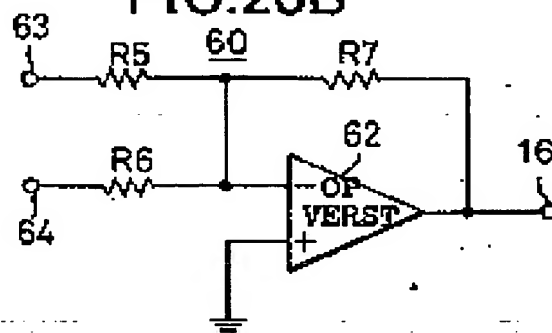


FIG.21

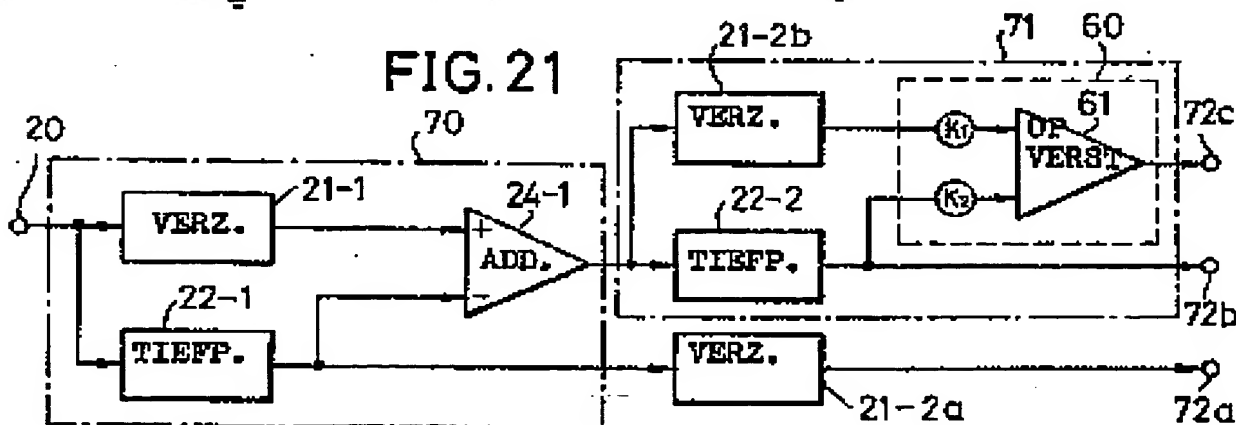


FIG. 22

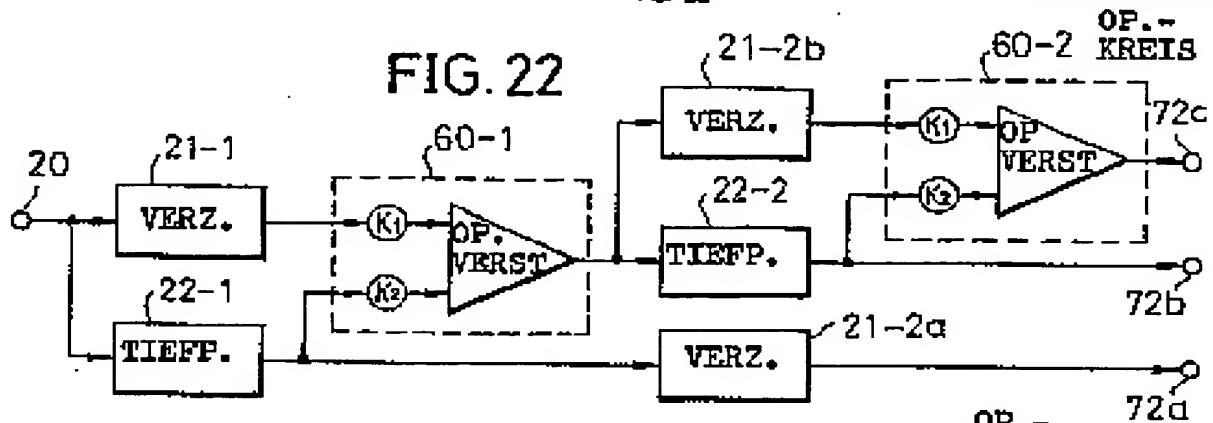


FIG. 23

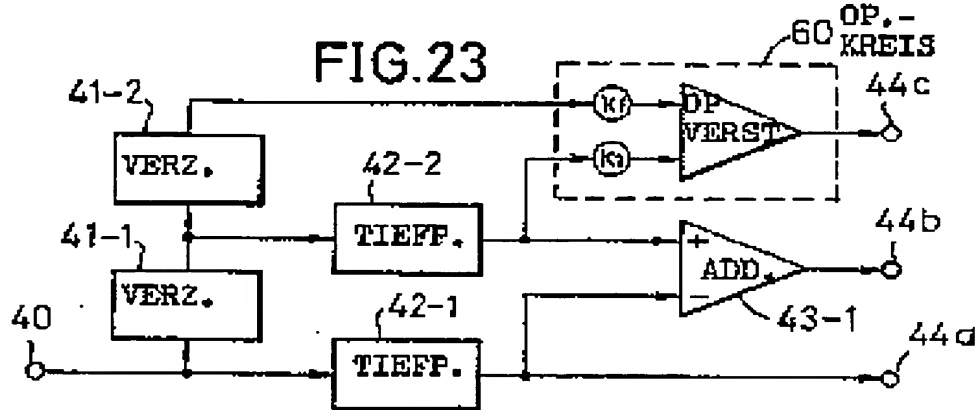


FIG. 24

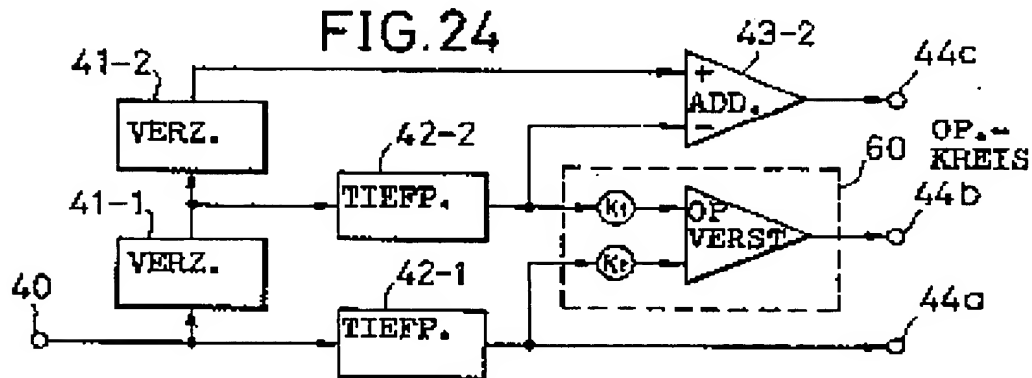
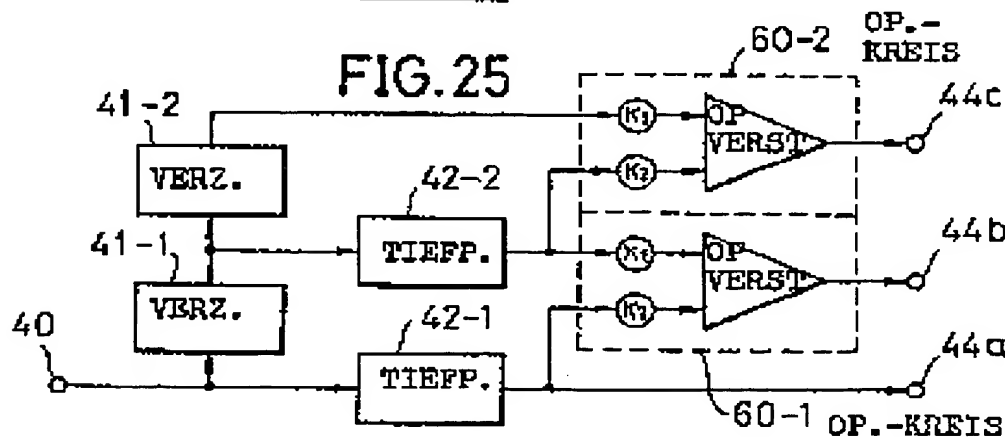


FIG. 25



THIS PAGE BLANK (USPTO)